



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**

Tese de doutorado

**UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES  
ÓTIMAS VOLTADAS À CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:  
UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA MACRO ESCALA URBANA**

**Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna**

**Brasília-DF**

**2023**

**Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna**

**UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES  
ÓTIMAS VOLTADAS À CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:  
UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA MACRO ESCALA URBANA**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

**Área de Concentração:** Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade

**Orientador:** Daniel Richard Sant'Ana

**Brasília-DF**

**2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

VIANNA, JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA

Uma proposta metodológica para a identificação de soluções ótimas voltadas à conservação de água em edificações residenciais: uma análise multicritério na macro escala urbana [Distrito Federal] 2023. xvii, 189p.

Tese (Doutorado – Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)

1. Conservação de água

2. Edificações residenciais

3. Análise multiobjetivo e multicritério

4. Estações de tratamento de esgoto

**Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna**

**UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES  
ÓTIMAS VOLTADAS À CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:  
UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA MACRO ESCALA URBANA**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora  
composta pelos seguintes membros:

---

Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana (Orientador)

---

Prof. Dra. Conceição Alves (Membro interno)

---

Prof. Dr. Marcelo de Miranda Reis (Membro externo)

---

Prof. Dra. Marcus André Siqueira Campos (Membro externo)

---

Prof. Dra. Chenia Rocha Figueiredo (Membro suplente)

Brasília/DF, 27 de janeiro 2023

“A persistência é o caminho do êxito  
(Charles Chaplin)”

## **AGRADECIMENTOS**

A pesquisa que deu fruto a esta tese, sendo materializada no título de Doutor em Arquitetura não foi solitária. Muitas pessoas colaboraram com grãos de conhecimento e incentivo.

A minha esposa Luciene, pelas horas de sacrifício do convívio familiar.

A minha mãe Regina, pelo incentivo ao estudo desde criança.

A meu pai Jorge, pelos exemplos e guias práticos de cada estudo de caso.

A minha filha Thaís, pela paciência e por manter minha alegria.

Ao meu orientador Daniel, pela paciência e ensinamentos.

Ao professor Marco Antonio, pelos ensinamentos, paciência e eterno apoio.

A FAU, pelo suporte em todas as atividades que realizei.

Aos professores das disciplinas do curso, obrigado pelo apoio incondicional.

## RESUMO

O crescimento populacional e o aumento do consumo *percapita* têm provocado o aumento da demanda de água, além da influência do aumento da temperatura ocasionado pelas mudanças climáticas. Este consumo exagerado vem afetando o meio ambiente. Diversos estudos têm procurado soluções para diminuir a demanda, por meio de ações de conservação da água, tendo como propósito o uso eficiente dos recursos naturais, sem prejudicar as gerações futuras. Uma projeção da ONU (2019) sobre população e demanda sugere que o consumo poderá ser 50% maior em 2050. Tal fato alerta para a necessidade de estudos sobre a conservação de água, empregando os equipamentos economizadores de água, o aproveitamento da água de chuva e o reúso de águas cinzas. A escolha das alternativas dependerá de uma série de fatores, o qual estudos à parte devem ser detalhados para cada caso. Para tanto, o presente estudo teve por objetivo identificar soluções ótimas voltadas à conservação de água em edificações residenciais em termos dos benefícios ambientais e econômicos gerados na macro escala urbana foram utilizados o apoio dos métodos multiobjetivos-multicritérios para manter o equilíbrio da decisão entre os diversos atores. Assim, foram utilizados como atores a sociedade, governo, concessionária e meio ambiente. Desta foram, buscou-se uma solução equilibrada, que atendesse todos os atores, conhecida como solução ótima. Foram utilizados os métodos dos equipamentos economizadores de água, aproveitamento de água de chuva e reúso de água cinza. Os dados das regiões administrativas do Distrito Federal foram reorganizados segundo suas estações de tratamento de esgoto de atuação, o que possibilitou analisá-las e seus rios de desagüe. Além das estações de tratamento de esgoto, a concessionária de saneamento local teve seu balanço estudado, possibilitando a produção do conhecimento da equação do lucro em função do volume de água faturado. Os métodos foram aplicados segundo várias alternativas em cada faixa de renda, nos centros mais e menos populosos, nos centros de maior e menor consumo domiciliar e, nos maiores e menores consumos mensais. Tais avaliações foram realizadas segundo um estudo do intervalo de confiança de 95%. Os critérios de comparação das alternativas foram, na sociedade, o investimento do cidadão, a vontade de implantar uma tecnologia nova e o *payback* simples; no meio ambiente foi a redução da exploração dos recursos hídricos, a variação da qualidade do corpo hídrico e sua variação de enquadramento segundo a CONAMA 357. Na concessionária, foram avaliados o lucro e a economia na operação da estação de tratamento de esgoto; por fim, no governo, foi avaliado o comprometimento mensal da renda do cidadão. Foram produzidas 35 alternativas, sendo que apenas 10 permaneceram após o uso dos parâmetros de triagem. As alternativas preferenciais neste estudo foram utilizar o reúso de águas cinzas aplicado na classe média-alta (alternativa 10), utilizar o reúso de águas cinzas aplicado na classe média-baixa (alternativa 13) e utilizar o reúso de águas cinzas aplicado nas áreas de população acima do intervalo de confiança (alternativa 22).

**Palavras-chave:** Conservação de água; Estações de tratamento de esgoto; Escala Urbana

## ABSTRACT

Population growth and the increase in per capita consumption have caused an increase in water demand, in addition to the influence of the increase in temperature caused by climate change. This exaggerated consumption has been affecting the environment. Several studies have sought solutions to reduce demand, through water conservation actions, with the purpose of efficient use of natural resources, without harming future generations. A UN projection (2019) on population and demand suggests that consumption could be 50% higher in 2050. This fact warns of the need for studies on water conservation, using water-saving equipment, the use of rainwater and gray water reuse. The choice of alternatives will depend on a series of factors, which separate studies must be detailed for each case. The present study aimed to assess water conservation on a urban scale, using Federal District as a case study. The multicriteria tool was used due to the presence of the actors society, government, concessionary company and environment. Thus, a balanced solution was aimed for, one that attends to all the actors, known as an optimal solution. This study used the methods of water saving devices, rainwater usage and greywater usage. The data from Federal District's administrative regions were reorganized in accordance with their sewage treatment stations, which enabled their analysis and their drainage rivers'. Besides the sewage treatment stations, the local sanitation concessionary had it's balance studied, enabling the knowledge of the production of the profit equation in function of the water volume billed. The methods were applied according to several alternatives, in all of Federal District, in each income class, in the less and more populous centers, in the centers of greater and lesser home consumption and in the greater and lesser monthly consumptions. The greater and lesser assessment was mad according to a study of the 95% reliability interval. The comparison criteria of the alternatives were, in the society, the citizen's investment, the will to implement a new technology and the simple payback; in the environment it was the reducing of exploration of water resources, the variation of the quality of the water body and it's variation of framework according to CONAMA 357. In the concessionary, the profit end the savings in the operation of the sewage treatment stations were assessed; finally, in the government, the monthly income commitment of the citizen. 35 alternatives were created, being that only 10 remained after the application of the triage parameters. The preferential alternatives of this study were using the RAC in the middle to high class (alternative 10), using RAC in the middle to low class (alternative 13), and using the RAC in the areas of population over the reliability interval (alternative 22).

**Keywords:** Water conservation; Sewage treatment; Urban scale



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	30
1.2 OBJETIVOS .....	38
1.3 ESTRUTURA DA TESE.....	39
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>41</b>
2.1 CENÁRIO ATUAL .....	41
2.2 A CONSERVAÇÃO DE ÁGUA.....	47
2.2.1 Os equipamentos economizadores de água .....	50
2.2.2 O reúso de águas cinzas.....	52
2.2.3 O aproveitamento da água de chuva.....	55
2.2.4 Os sistemas múltiplos .....	63
2.2.5 A qualidade da água .....	68
2.2.6 Uma análise socioeconômica.....	70
2.3 A AUTODEPURAÇÃO .....	75
2.3.1 Modelo de Streeter-phelps.....	76
2.4 OS MÉTODOS MULTIOBJETIVO MULTICRITÉRIO .....	79
2.4.1 Os Tipos De MMC .....	81
2.4.2 As aplicações .....	85
2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	87
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>89</b>
3.1 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO .....	89
3.2 SISTEMA TARIFÁRIO ADOTADO .....	91
3.3 CARACTERÍSTICAS DAS RA .....	91
3.4 AGRUPAMENTO POR ETE.....	92
3.5 A EFICIÊNCIA DAS ETE .....	93
3.6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA .....	94
3.7 CORPOS RECEPTORES.....	95
3.8 RECEITAS E DESPESAS DA CONCESSIONÁRIA DE SANEAMENTO..	96
3.9 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS .....	99

3.10	DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....	100
3.11	VALORES DOS CRITÉRIOS .....	103
3.11.1	Investimento Do Cidadão .....	103
3.11.2	Vontade De Implantar .....	104
3.11.3	<i>Payback</i> Simples .....	104
3.11.4	Redução Da Exploração Dos Recursos Hídricos .....	105
3.11.5	Variação Da Qualidade Do Corpo Hídrico Após A Nova Mistura .....	105
3.11.6	Enquadramento Do Corpo Hídrico .....	107
3.11.7	Economia Na Operação Da ETE .....	108
3.11.8	Variação Do Comprometimento Mensal Da Renda Familiar .....	109
3.12	TRIAGEM .....	111
3.13	MÉTODO MULTICRITÉRIO .....	111
3.14	ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DO QUESTIONÁRIO .....	112
3.15	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MMC .....	113
3.16	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	113
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>116</b>
4.1	DADOS DAS RA .....	116
4.2	RESULTADO DO QUESTIONÁRIO E DETERMINAÇÃO DOS PESOS .....	119
4.3	ALTERNATIVAS .....	123
4.3.1	Global Única .....	124
4.3.2	Por Faixa de renda .....	124
4.3.3	Não usuais .....	126
4.3.4	Identificação de soluções factíveis .....	129
4.3.5	Resumo das alternativas .....	134
4.4	TRIAGEM .....	136
4.5	COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS TRIADAS .....	137
4.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO .....	137
4.7	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	138

<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>139</b>
5.1 A SOLUÇÃO ÓTIMA.....	140
5.2 LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS.....	143
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>
<b>7. APÊNDICE A – EFICIÊNCIA ETE .....</b>	<b>167</b>
7.1 ETE PLANALTINA (reator anaeróbico) .....	167
7.2 ETE BRASÍLIA SUL (remoção biológica).....	167
7.3 ETE BRASÍLIA NORTE (remoção biológica).....	168
7.4 ETE GAMA (reator anaeróbico) .....	168
7.5 ETE MELCHIOR (reator anaeróbico).....	169
7.6 ETE SOBRADINHO (lodo ativado) .....	169
7.7 ETE BRAZLÂNDIA (lagoa anaeróbia) .....	170
7.8 ETE PARANOIA (reator anaeróbico) .....	170
7.9 ETE SAMAMBAIA (reator anaeróbico).....	171
7.10 ETE SANTA MARIA (reator anaeróbico).....	171
7.11 ETE ALAGADO (reator anaeróbico).....	172
7.12 ETE RECANTO DAS EMAS (reator anaeróbico).....	172
7.13 ETE RIACHO FUNDO (remoção biológica).....	173
7.14 ETE SÃO SEBASTIÃO (reator anaeróbico).....	173
7.15 QUESTIONÁRIO INICIAL.....	174
7.16 QUESTIONÁRIO COMPLEMENTAR.....	176
<b>8. APÊNDICE C – RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS .....</b>	<b>178</b>
8.1 QUESTIONÁRIA INICIAL.....	178
8.2 QUESTIONÁRIO COMPLEMENTAR.....	186
<b>9. APÊNDICE D – CÁLCULO DA INFLAÇÃO .....</b>	<b>194</b>
<b>10. APÊNDICE E -COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DO AAC DA CLASSE MÉDIA ALTA.....</b>	<b>195</b>
<b>11. APÊNDICE F – MAPA DOS RIOS DO DF .....</b>	<b>196</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Demanda diária histórica de água no DF .....	44
Figura 2- Os destinos da água potável no DF.....	45
Figura 3- Relação entre as vazões com a curva de permanência.....	46
Figura 4-Economia monetária média da adoção de múltiplas alternativas de conservação de água.....	51
Figura 5- Potencial de economia de água em função da precipitação.....	56
Figura 6- custo de implantação do AAC num horizonte de 50 anos.....	57
Figura 7- Comparação de cenários de AAC.....	59
Figura 8- Custo de implantação do AAC .....	60
Figura 9- Comparação entre preço da água e VPL em cada amostra.....	61
Figura 10- VPL ao longo dos anos da implantação do AAC .....	62
Figura 11- curva de Pareto para o consumo de água, custo anual e emissão de CO2....	66
Figura 12- Taxa de aceitação dos EEA .....	71
Figura 13- Taxa de aceitação do AAC .....	71
Figura 14- Taxa de aceitação do RAC.....	72
Figura 15- Gasto mensal aceitável.....	72
Figura 16- Duração do gasto aceitável .....	73
Figura 17- resumo dos valores de conservação de água dos estudos nacionais.....	74
Figura 18-Mecanismo do processo da autodepuração.....	76
Figura 19- equação geral de K2 para os rios do DF .....	79
Figura 20- uso dos MMC ao longo dos anos.....	79
Figura 21- Representação esquemática do conceito do método TOPSIS .....	84
Figura 22-Fluxograma metodológico .....	90
Figura 23- Representatividade dos gastos da concessionária.....	96

Figura 24- Valores fora da tendência, que foram escolhidos como alternativas.....	99
Figura 25-Questão sobre renda familiar .....	122
Figura 26- Resumo das respostas da pergunta número 1 do 1º questionário .....	178
Figura 27- Resumo das respostas da pergunta número 2 do 1º questionário .....	179
Figura 28- Resumo das respostas da pergunta número 3 do 1º questionário .....	180
Figura 29- Resumo das respostas da pergunta número 4 do 1º questionário .....	181
Figura 30- Resumo das respostas da pergunta número 5 do 1º questionário .....	182
Figura 31- Resumo das respostas da pergunta número 6 do 1º questionário .....	183
Figura 32- Resumo das respostas da pergunta número 7 do 1º questionário .....	184
Figura 33- Resumo das respostas da pergunta número 8 do 1º questionário .....	184
Figura 34- Resumo das respostas da pergunta número 9 do 1º questionário .....	185
Figura 35- Resumo das respostas da pergunta número 10 do 1º questionário .....	185
Figura 36- Resumo das respostas da pergunta número 11 do 1º questionário .....	185
Figura 37- Resumo das respostas da pergunta número 12 do 1º questionário .....	185
Figura 38- Resumo das respostas da pergunta número 1 do 2º questionário .....	186
Figura 39- Resumo das respostas da pergunta número 2 do 2º questionário .....	187
Figura 40- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Primeira posição - do 2º questionário .....	188
Figura 41- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Segunda posição - do 2º questionário .....	189
Figura 42- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Terceira posição - do 2º questionário .....	190
Figura 43- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Quarta posição - do 2º questionário .....	191
Figura 44- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Quinta posição - do 2º questionário .....	192

Figura 45- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Sexta posição - do 2º questionário ..... 193

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação dos estudos .....	37
Tabela 2- Consumo de água histórico do DF .....	43
Tabela 3- Os rios que recebem os esgotos das ETE do DF .....	45
Tabela 4- Relação das ETE com suas respectivas RA .....	46
Tabela 5- Principais vazões dos rios do DF .....	47
Tabela 6- Desempenhos dos equipamentos residenciais .....	51
Tabela 7- Cenários com alternativas de conservação de água.....	52
Tabela 8- relação entre volume do tanque e confiabilidade no AAC.....	58
Tabela 9- Análise econômica do RAC e AAC.....	63
Tabela 10- desempenho das alternativas de conservação de água quando instaladas em casas.....	64
Tabela 11- Redução do consumo de água potável por faixa de renda domiciliar no DF65	
Tabela 12- Comparação dos cenários de conservação de água adotados.....	66
Tabela 13- Economia de água e energia das estratégias adotadas.....	67
Tabela 14- redução no consumo de água e na produção de esgoto.....	68
Tabela 15- Valores brasileiros de DBO para mistura entre o esgoto do chuveiro e do lavatório.....	69
Tabela 16- Rendimento dos sistemas de tratamento empregados em RAC .....	69
Tabela 17- Investimento máximo aceitável.....	73
Tabela 18- custos da implantação das alternativas de conservação de água .....	74
Tabela 19- tratamento estatístico dos valores percentuais de economia água.....	74
Tabela 20- Valores da concentração de saturação em função da temperatura e da altitude .....	77
Tabela 21- Coeficientes de degradação .....	78

Tabela 22- Coeficiente de reaeração dos rios do DF em função da vazão .....	78
Tabela 23- desvio padrão entre resultados dos MMC .....	83
Tabela 24 - Distâncias aplicadas ao método.....	85
Tabela 25- novo sistema tarifário do DF .....	91
Tabela 26- Dados de operação das ETE do DF.....	93
Tabela 27- Coeficientes K1 e K2 de alguns rios do DF .....	95
Tabela 28- Receita e volume faturados no DF pela concessionária – valores não atualizados .....	97
Tabela 29- Lucro anual da concessionária .....	98
Tabela 30 – Critérios de julgamento.....	101
Tabela 31 – Pontuação do questionário.....	101
Tabela 32- investimento do cidadão (atualizados para valores atuais) .....	103
Tabela 33- payback dos investimentos.....	105
Tabela 34- DBO e OD.....	106
Tabela 35- enquadramento dos rios segundo a CONAMA357.....	107
Tabela 36- Custos de operação das ETE do DF .....	109
Tabela 37- custo de operação das alternativas de conservação de água (valor atual)..	110
Tabela 38- confiabilidade das amostras.....	113
Tabela 39- critérios de comparação das alternativas .....	114
Tabela 40- critérios de triagem.....	114
Tabela 41- resumo das alternativas .....	115
Tabela 42- dados das RA – parte bibliográfica .....	117
Tabela 43- dados das RA – parte calculada.....	118
Tabela 44- Caracterização das ETE agrupadas .....	118
Tabela 45- Equação da eficiência de cada ETE .....	119



Tabela 46-resposta da pergunta três do segundo questionário .....	121
Tabela 47-pesos dos objetivos e critérios, incluindo todos os questionários .....	122
Tabela 48-pesos dos objetivos e critérios homogeneizados .....	123
Tabela 49- Matriz pay-off aplicada a todas as ETE .....	124
Tabela 50- Matriz pay-off aplicada as RA de classe alta apenas .....	125
Tabela 51- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-alta apenas .....	125
Tabela 52- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-baixa apenas .....	126
Tabela 53- Matriz pay-off aplicada as RA de classe baixa apenas .....	126
Tabela 54- Alternativas não usuais para população por RA .....	126
Tabela 55- Matriz pay-off aplicada as análises populacionais .....	127
Tabela 56- Alternativas não usuais para os consumos domiciliares por RA.....	128
Tabela 57- Matriz pay-off aplicada as análises de consumo domiciliar.....	128
Tabela 58- Alternativas não usuais para os consumos mensais por RA .....	129
Tabela 59- Matriz pay-off aplicada as análises do consumo mensal por RA.....	129
Tabela 60- Matriz pay-off aplicada as RA de classe alta .....	130
Tabela 61- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-alta .....	130
Tabela 62- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-baixa .....	131
Tabela 63- Alternativas não usuais para população por RA .....	131
Tabela 64- Matriz pay-off aplicada as RA não usuais por população.....	132
Tabela 65- Alternativas não usuais para os consumos domiciliares por RA.....	132
Tabela 66- Matriz pay-off aplicada aos consumos domiciliares por RA .....	133
Tabela 67- Alternativas não usuais para os consumos mensais .....	133
Tabela 68- Matriz pay-off aplicada as RA não usuais agrupado por consumo mensal	134
Tabela 69- Resumo das alternativas aprovadas – parte 1 .....	135

Tabela 70- Resumo das alternativas aprovadas – parte 2.....	135
Tabela 71- Valores de preferência e veto (p, q, v) .....	137
Tabela 72- Ordenação final das alternativas.....	137
Tabela 73- Dados de operação da ETE PLANALTINA .....	167
Tabela 74- Dados de operação da ETE BRASÍLIA SUL .....	167
Tabela 75- Dados de operação da ETE BRASÍLIA NORTE.....	168
Tabela 76- Dados de operação da ETE GAMA .....	168
Tabela 77- Dados de operação da ETE MELCHIOR.....	169
Tabela 78- Dados de operação da ETE SOBRADINHO .....	169
Tabela 79- Dados de operação da ETE BRAZLÂNDIA .....	170
Tabela 80- Dados de operação da ETE PARANOÁ .....	170
Tabela 81- Dados de operação da ETE SAMAMBAIA .....	171
Tabela 82- Dados de operação da ETE SANTA MARIA.....	171
Tabela 83- Dados de operação da ETE ALAGADO.....	172
Tabela 84- Dados de operação da ETE RECANTOS DAS EMAS .....	172
Tabela 85- Dados de operação da ETE RIACHO FUNDO .....	173
Tabela 86- Dados de operação da ETE SÃO SEBASTIÃO .....	173
Tabela 87- Inflação acumulada.....	194
Tabela 88- Comparação das alternativas da chuva para a classe média-alta.....	195

## LISTA DAS SIGLAS

AAC- Aproveitamento da água das chuvas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP- *Analytic Hierarchy Process*

CAESB- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CBMDF- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

CF- Coliformes Fecais

CGU- Controladoria Geral da União

CH-chuveiro

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

CO<sub>2</sub>- gás carbônico

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

cpc- consumo *per capita*

CREA- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

CT - Coliformes Totais

DBO af- DBO afluente

DBO- Demanda Biológica de oxigênio

DBO ef- DBO efluente

DF- Distrito Federal

DQO- Demanda química de oxigênio

DRB- Dado obtido da referência bibliográfica

EEA – Equipamentos economizadores de água

EEA- Economizadores de água

ELECTRE- ELimination Et Choix Traduisant la REalité.

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América

ETAC- Estação de Tratamento para águas cinzas

ETAP- Estação de Tratamento para água de chuva

ETE - Estação de Tratamento de Esgotos

EUA – Estados Unidos da América

GDF- Governo do Distrito Federal

GIS- Sistema de informação geográfica

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM- Instituto Brasília Ambiental

IC- Intervalo de confiança

IFB- Instituto Federal de Brasília

IME- Instituto Militar de Engenharia

INCC- Índice Nacional De Custo Da Construção Do Mercado

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQR- amplitude do quartil

Lpcd- litros *per capita* dia

Maf- million of foot acre

MBR- Membrane Bio Reactor

mca- metro de coluna de água (pressão),

MLL-máquina de lavar louça

MLR-máquina de lavar roupa

MMC- Método multicritério

NBR- Norma Brasileira

NOVACAP- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PAC-peso absoluta do critério

PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PIB- Produto Interno Bruto

PRC-peso relativo do critério

PROMETHEE- *Preference ranking organization method for enrichment evaluation*

PURAs - Programa De Uso Racional Da Água

PVC - Policloreto de Vinila

Q- vazão

R<sup>2</sup> - coeficiente de dETERminação

RA- Regiões Administrativas

RAC- Reúso de águas cinzas

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SIDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SST - Sólidos suspensos totais

TCDF- Tribunal de Contas do Distrito Federal

TOPSIS- Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal

UASB - “upflow anaerobic sludge blanket”

UFBA- Universidade Federal da Bahia

UFCG- Universidade Federal de Campina Grande

UFGRS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina

UH- unidade habitacional

UNB- Universidade de Brasília

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura

UNIP- Universidade Paulista

USP - Universidade de São Paulo

WPA- disposição para aceitar

WTP- disposição em pagar

# 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o crescimento populacional e o aumento do consumo *per capita* têm provocado o incremento da demanda por água nas cidades. Por outro lado, a disponibilidade hídrica não acompanhou esta tendência, provocando a escassez hídrica nas cidades. Tal fato ocorreu devido as variações no regime de chuvas associado às altas temperaturas, pelo fenômeno climático *El Niño* (Araújo et al., 2016) e pelas alterações no Planeta provocadas pelo homem, causando uma série de alterações na temporalidade e vazão dos rios e nas secas intensas (Houston, 2013).

Na busca de soluções para a escassez hídrica, diversos estudos - (Mandal *et al.*, 2011), (Willis *et al.*, 2013), (Liaw & Chiang, 2014), (Leal, 2013) e (Pacheco & Campos, 2017) - pesquisaram o uso de alternativas isoladas em uma edificação, enquanto os mais recentes analisaram os sistemas múltiplos. Raros foram aqueles que estudaram um contexto macro, condomínios, vilas ou bairros, até uma cidade. Além disto, a maioria das pesquisas utilizou técnicas econométricas para comparar alternativas, deixando os métodos multiobjetivo multicritério (MMC) de lado. Por outro lado, a possível interferência das alternativas de conservação de água nas estações de tratamento de esgoto (ETE) não foi aprofundada.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A sociedade moderna é baseada num sistema industrial que consome alta quantidade de matéria prima em um fluxo contínuo e rápido (Silva & Freitas, 2016). Os impactos destas atividades antrópicas vêm afetando negativamente o meio ambiente, tornando-se necessária a busca por políticas públicas que estimulem o desenvolvimento sustentável. O objetivo é o uso eficiente dos recursos naturais, sem esgotá-los e reduzindo ao máximo a sua extração e diminuindo a poluição decorrente de seu uso. Assim, é necessário melhorar as ações na conservação de água num ponto de vista global (CODEPLAN, 2021).

UNWater (2018) apresenta cenários preocupantes relativos à elevada demanda por água (aumento previsto de 55% até 2050), superior à taxa de recarga dos reservatórios e aquíferos, causando um estresse hídrico no mundo. Atualmente, 31 países apresentam

estresse hídrico entre 25% (o início da situação de estresse) e 70%, enquanto 22 países apresentam valores superiores a 70% e estão em situação grave (UNWater, 2018)

Um dos momentos mais severos em termos de escassez de água no mundo ocorreu na Cidade do Cabo, onde havia a expectativa que a cidade ficasse sem água, sem chamado de Dia Zero. Entretanto, após severas restrições, conseguiu manter um nível de consumo de 46 L/hab/dia, evitando a seca absoluta. Porém, atualmente, o consumo retornou a subir, aumentando a preocupação nos dias de seca e nos verões (Qatium, 2021).

No Brasil, em particular, a escassez severa<sup>1</sup> generalizada pelo Brasil iniciou-se em 2010, provocando a declaração de estado de emergência em mais de 27% dos municípios do Nordeste (ANA, 2011). Apenas em 2014, a escassez atingiu várias regiões do Brasil, em particular os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, e Espírito Santo, sendo considerada a pior dos últimos 80 anos.

A região sul do Brasil também foi afetada pela escassez hídrica, quando mais de 80% de seus municípios declararam emergência e os rios da região atingiram níveis inferiores aos históricos (CNM, 2021). Na região Norte do Brasil, a escassez provocou a diminuição do nível dos afluentes do rio Amazonas, prejudicando a locomoção da população; diminuição da produção de energia elétrica pelas hidroelétricas e diminuição da disponibilidade de comida devido dificuldade na captura dos peixes (MMA *et al.*, 2017). No Nordeste brasileiro, a escassez de água provocou a diminuição do desenvolvimento socioeconômico, com expectativas de um volume menor de chuvas, agravando o cenário atual e podendo resultar numa mudança do clima, tornando o semiárido mais árido (MMA *et al.*, 2017). No Sudeste, a escassez de chuvas atrelada ao alto consumo fez com que medidas emergenciais fossem adotadas: diminuição da vazão de retirada dos reservatórios e aumento da vazão de entrada por meio de manobras com outras redes. No centro-oeste, a estiagem na bacia do Rio Paraguai é a maior dos últimos 91 anos (Couto, 2021). A navegação chegou a ser suspensa e há diversos problemas de operação nas Usinas Hidrelétricas (UHE) devido ao baixo nível dos rios. Diversos municípios decretaram emergência ambiental (Pereira *et al.*, 2020).

Em São Paulo, o sistema Cantareira, que abastece com água mais de 9 milhões de pessoas passou por uma grande escassez hídrica (SABESP, 2016). A estiagem que começou em

---

<sup>1</sup> Quando produz impactos superiores aos últimos anos históricos



2013 não permitiu suprir a demanda nem reabastecer os reservatórios. Em 2014, os níveis de seus reservatórios atingiram valores críticos, chegando a impedir que as bombas operassem (SABESP, 2015). Em meio à crise, o consumo *per capita* que era de 162 L/hab/dia, reduziu para 123 L/hab/dia. Porém, em 2020, já começou a aumentar, estando em 128 L/hab/dia (SABESP, 2020)

Em Minas Gerais, a estiagem e o consumo desordenado provocaram, em 2014, a diminuição do fluxo do rio São Francisco e o desaparecimento de algumas nascentes. O estado de emergência foi decretado em 25% dos municípios mineiros e os reservatórios atingiram 5,2% do seu volume útil, dificultando a operação das suas ETA (Fayer *et al.*, 2017).

O Rio de Janeiro possui alta taxa de ocupação territorial feita de forma desordenada, o que aumenta a busca por soluções alternativas como poços ou ligações clandestinas, utilizando a água sem controle (Ferreira *et al.*, 2008). O baixo volume dos reservatórios e o problema do avanço do mar sobre os rios, causaram a salinização de alguns pontos de captação do rio Paraíba do Sul (Jordão, 2017) e foram determinantes para a escassez hídrica de 2014.

O Espírito Santo sofreu com a estiagem e consequente escassez de água em 2014. Várias cidades tiveram o rodízio e o racionamento implantados, a captação de água para fins diversos do abastecimento humano foi proibido (uso animal e agrícola, por exemplo) foram proibidos (Santo, 2015). Em 2017, a precipitação anual acumulada aumentou 30%, sendo inferior à média histórica (INCAPER, 2020), mas possibilitando o encerramento da crise. Apenas em 2019, a chuva começou a voltar aos índices históricos, ficando acima da média histórica em 2020 (INCAPER, 2020).

Em setembro de 2016, o Distrito Federal sofreu escassez hídrica resultante da irregularidade no regime das chuvas, do crescimento demográfico acelerado, da ocupação urbana irregular, do elevado índice de perdas de água na rede de abastecimento, falta de investimento adequado no sistema e do elevado consumo *per capita* (Santos & Sant'Ana, 2019). Seus principais reservatórios ficaram com menos 20% da capacidade disponível armazenada, afetando a captação das ETA. Apesar da preocupação da população com a situação hídrica, colaborando com a redução o consumo nessa ocasião, em 2019 os padrões retornaram aos índices históricos (CODEPLAN, 2021).

Além das recentes crises já citadas, ressalta-se que o Brasil teve outros grandes períodos de seca em sua história: em 1723, 1877, 1919, 1934 (no Nordeste), 1977 e 1979. Esta frequência de crises alertou o meio acadêmico para a necessidade de estudos em busca de soluções para o problema recorrente. Contudo, os especialistas alertam que a gravidade e recorrência das crises hídricas devem aumentar em virtude do crescimento da área desmatada (Augusta & Braga, 2011).

Em 2021, novos alertas da crise hídrica ocorreram. Desta vez com foco maior na energia elétrica, visto que a principal matriz energética brasileira é a hidroelétrica, mas com seus reservatórios com volume inferior a média histórica, a produção estava comprometida. O volume de chuva em 2021 foi inferior ao de 2020 (ONS, 2021a). Alguns rios atingiram um déficit de chuva dos últimos 10 anos equivalente à média histórica anual do mesmo rio (ONS, 2021b), ou seja, apenas 9 anos em 10. Na bacia do Rio Paraná (incluindo os estados de MS, PR, SP, MG e GO) observou-se a queda no volume de chuvas desde 2018 (CNN, 2021). Em agosto de 2021, o sistema cantareira, em SP, atingiu 39,2% do volume útil, despertando a preocupação para uma crise similar à de 2014 (SABESP, 2021).

Segundo a ONU (2019), até 2050, o Brasil deverá atingir uma população de 238 milhões de habitantes (13% maior que a atual), com uma demanda prevista de até 365 L/hab/dia (UNWater, 2015), superando a média atual de 154,1 L/hab/dia (SNIS, 2019). A combinação desses dados sugere um aumento de 50% na demanda nacional por água potável, deixando os níveis dos reservatórios cada vez mais baixos.

A conservação de água consiste nas práticas e iniciativas tecnológicas para reduzir o uso da água, atuando tanto na demanda quanto na oferta de água (Hespanhol & Gonçalves, 2004). Desde 1934, quando foi elaborado o Código das Águas, havia preocupações com o consumo de água. Este trabalho tem como foco o estudo de conservação de água em edificações residenciais, aproximando-se da definição da NBR 16782.

As alternativas mais usuais empregadas para a conservação de água são a educação ambiental, redução de vazamentos, instalação de dispositivos economizadores de água, hidrometração unitária, aproveitamento da água da chuva e sistema de reúso de água cinza. Em geral, essas iniciativas apresentam potencial de economia de água em edificações que varia de 14,5% a 54,2% (Sant'Ana & Mazzega, 2018) dependendo da tipologia da edificação e da demanda. De modo similar, o custo de implantação em edificações também é bastante variável, dependendo do padrão de acabamento do imóvel,

da tipologia hidráulica, idade do imóvel, alternativa escolhida e conjuntura econômica (Pacheco & Campos, 2017).

Nesse cenário da diminuição da demanda de água, a quantidade de líquido presente no esgoto diminui, mas a quantidade de poluentes permanece inalterada, já que as finalidades permaneceram as mesmas, ocasionando um aumento na concentração de sólidos (Oron *et al.*, 2014). Diante desta conjuntura, as estações de tratamento de esgoto (ETE) devem ter sua capacidade de recepção de esgoto ampliada e implantadas melhorias na eficiência dos processos de remoção dos poluentes.

As ações para a conservação de água, em particular, a melhoria do sistema de água potável e de tratamento dos esgotos é complexa e cara. Em 2019, houve um investimento em saneamento de 0,16% do PIB brasileiro (ABDIB, 2019a), sendo que o máximo histórico foi de 0,45% do PIB em 1981 (ABDIB, 2019b). Entretanto, os países com pleno atendimento em saneamento (topo do ranking) investem na ordem de 10% do seu PIB, o que proporciona uma redução de custos na área da saúde entre U\$3 (para os que pouco investem em saneamento) e U\$34 (altos valores investidos em saneamento) por dólar investido (Christian-Smith *et al.*, 2012). Tal comparação mostra que, apesar de um investimento inicial alto, os investimentos em pesquisa e tecnologia para a área de saneamento tendem a ser amortizados por outros setores, em geral, na saúde e qualidade de vida. A dimensão e viabilidade dos gastos podem ser exemplificados pelo fato que os EUA, em 2019, gastaram quase oito milhões de dólares no combate a vazamentos de água potável (Drinking Water, 2021).

Neste contexto, surgem alguns atores<sup>2</sup>: a sociedade, o governo, o meio ambiente e a companhia de saneamento. Cada qual tem um interesse em específico, seja divergente ou não do outro. A sociedade é o usuário final, necessitando da água para suas ações essenciais e rotineiras e dependente do valor da fatura de água e esgoto. Apesar deste valor ser cobrado pela companhia de saneamento, ele é regulamentado pelo governo.

O meio ambiente sofre os impactos das modificações que a sociedade produz na expansão populacional e com o consumo exagerado e desordenado de recursos naturais. Estes impactos desequilibram o sistema, causando mudanças climáticas (seca, tempestades e

---

<sup>2</sup> Os atores são aqueles que conseguem influenciar a decisão, mas também podem sofrer as consequências das decisões (Damian *et al.*, 2010).

aumento da temperatura global) e provocam a escassez de recursos naturais. Neste contexto, a companhia de saneamento não consegue manter a oferta de água, necessitando de frequentes investimentos e mudanças operacionais na rede; e enquanto a sociedade sofre com o desconforto térmico, eventos catastróficos e a falta de água imposta, seja pelo rodízio ou racionamento; ambos autorizados pelo governo, que, momentaneamente, não conseguiu cumprir sua função constitucional de garantir qualidade de vida e saneamento básico (BRASIL, 1988).

Em virtude do alto consumo e da mudança climática, a companhia de saneamento necessita investir em novas captações de água e manobras operacionais. Diante disso, ocorre a diminuição da vazão dos rios. Tais alterações acarretam uma maior despesa à concessionária, criando uma pressão sob a tarifação. Além disto, há a necessidade de estudos nos efluentes das ETE para garantir que a vazão de desagüe atenda as normas, sem degradar o meio ambiente

Neste cenário complexo, existe o governo, tentando cumprir suas funções constitucionais, garantindo, simultaneamente, o bem-estar, o desenvolvimento nacional, a igualdade, a redução das desigualdades sociais e regionais, protegendo o meio ambiente e fiscalizando a exploração dos recursos hídricos (BRASIL, 1988). Para tanto, realiza campanhas educacionais, incentivos para a sociedade ou para a concessionária, flexibilização de normas, autorização de aumento de tarifas, entre outros. Assim, diversas decisões são estudadas no intuito de prover o menor dano colateral a qualquer uma das partes.

Diante dos diversos interesses citados, a solução ideal seria equilibrar os interesses de todas as partes, favorecendo a cooperação entre si e sem conflitos (Freeman & McVea, 2001). Entretanto, a solução ideal nem sempre é possível num mundo real, complexo, havendo a necessidade de flexibilizações dos interessados até um ponto em que não haja mais como alterar a proposta de solução sem provocar conflitos.

Nesse contexto, os cidadãos, assim como as associações, ONGs, Comitê das Bacias, entre outras emitem suas opiniões e definem seus pleitos. Porém, um dos aspectos conflitantes é a representatividade entre o consumo de água de cada da classe. Por apresentarem menores consumos, as classes mais baixas têm sua importância ignorada e, normalmente, os próprios usuários menosprezam o controle da qualidade devido à precariedade e à escassez da água (Leitão, 2009).

O meio ambiente, apesar de não ser um tomador de decisão, sofre reações às ações do homem e, em virtude disto, é apontado por alguns autores como um *stakeholder* da visão moderna corporativa (Ashley, 2002). No intuito de preservar o meio ambiente a fim de garantir qualidade a população atual e futura, surge a necessidade da economia dos recursos naturais, sem frear o desenvolvimento da sociedade e sem esgotar os recursos naturais, os quais serão usados por outras gerações no futuro.

A companhia de saneamento pode vir a ter seu processo gerencial e operacional modificado dependendo das ações de conservação de água implantadas. Possíveis aumentos das despesas com o tratamento de esgoto (devido a sua maior concentração) ou a diminuição das receitas (com a venda de um menor volume de água) podem acontecer, obrigando a empresa a replanejar seus processos, sejam com ajustes finos ou robustos. Tais fatores podem resultar num prejuízo à companhia e até mesmo provocar a necessidade ajuste das tarifas, afetando o equilíbrio de todo o sistema (governo, cidadão, meio ambiente e companhia de saneamento).

Para equilibrar a atuação entre todas as partes é necessária uma solução que produza uma harmonia e não as prejudique (Carter & Easton, 2011). Buscando uma solução para este problema, este estudo adotou a aplicação dos métodos multiobjetivo-multicritérios, já utilizados nos estudos de Jardim (1999), Lobato (2005), Barreto (2008), Cordeiro (2010), Vianna (2017) e Rocha & Lima (2019). A aplicação dos métodos atua como apoio à decisão, facilitando o gerenciamento das ações a serem desenvolvidas, hierarquizando as alternativas de acordo com o menor prejuízo entre elas (Noori *et al.*, 2021). Com o aumento do escopo, dos projetos ou do detalhamento, cresce a necessidade de análises detalhadas e o uso da ferramenta MMC (Graywater, 2016).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A escassez de água que o mundo vem sofrendo impulsionou a busca por possíveis soluções, sejam particulares, definitivas ou transitórias. Inúmeras foram as pesquisas aplicadas a uma única edificação residencial utilizando separadamente cada uma das alternativas de conservação de água. Entre os trabalhos que estudaram os economizadores de água, destacam-se (Sant'Ana, 2016b), da Silva *et al.* (2017) e Kordana *et al.* (2014). No aproveitamento da água de chuva destacam-se os trabalhos de Cáceres *et al.* (2019),

Pacheco & Campos (2017), Gurung & Sharma (2014), Bocanegra-Martínez et al. (2014), Umapathi et al. (2013), Ghisi & Schondermark (2013), Sampaio (2013), Sant'Ana et al. (2013) e Rashidi Mehrabadi et al. (2013) e (Sant'Ana, 2006a) . No reúso de águas cinzas tem-se Rezaei et al. (2019), Rezaei et al. (2019), Oron et al. (2014), Mandal et al. (2011), Wang et al. (2010) e Shubo (2003).

Mandal et al. (2011) pesquisaram um sistema de reúso de água cinza proveniente do chuveiro, lavatório e área de serviço, sendo utilizadas em bacias sanitárias e na irrigação de jardins. Com o uso desse sistema aplicado em áreas urbanas, a Índia conseguiu ter um período de retorno do investimento de 1,6 anos, com um custo unitário de U\$0,54/L de água. Em Taiwan, Liaw & Chiang (2014) aproximaram-se do mesmo custo unitário com aproveitamento da água de chuva com aplicação nas bacias sanitárias de residências urbanas e rurais, tendo custo unitário estimado entre U\$0,4/L e U\$0,6/L de água. Estes valores estão abaixo do custo da dessalinização (U\$1,04 a U\$1,33) e do reúso de água (U\$0,67 a U\$1). Em Cuiabá, verificou-se a aplicação do reúso de água cinza em condomínios verticais (com 25 andares e 4 apartamentos por andar). O sistema teve a captação do esgoto da lavanderia e do tanque de lavar roupas com a aplicação à irrigação do jardim e limpeza do pátio. O tempo de retorno foi de 1,42 anos, mantendo-se na faixa dos outros estudos (Leal, 2013).

A aplicação isolada das alternativas citadas era útil, porém havia a necessidade de comparar alternativas distintas para uma mesma edificação, caracterizando uma solução mais plausível. Buscando melhorar a comparação entre alternativas com objetivos claros, Graywater (2016) produziu um questionário para apoio a decisão para a escolha entre o uso de águas chuva e o reúso de águas cinzas em residências. As duas alternativas foram testadas isoladamente em seis estados dos Estados Unidos. Entre os diversos resultados, destaca-se a importância ao usuário e aos projetos em larga escala, por apresentarem melhor desempenho econômico.

Utilizando estratégia similar, Domínguez et al. (2017) verificaram a aplicação do aproveitamento da água de chuva e do reúso de águas cinzas em casas de uma região de baixa renda da Colômbia. Apresentaram desempenho ótimo as alternativas de reúso de água cinza proveniente dos chuveiros e lavatórios aplicadas na descarga dos banheiros; e o reúso de água cinza combinada com o aproveitamento da água de chuva para lavar roupas, regadores e limpeza de casas.

Um estudo de viabilidade financeira e análise dos impactos ambientais decorrente do aproveitamento da água da chuva foi realizado por Morales-Pinzón et al. (2012), em 16 cidades da Espanha. Após vários cenários, concluíram que edificações com maior densidade populacional são mais interessantes para aplicação do sistema do aproveitamento de água de chuva.

Sant'Ana (2011) coletou dados primários de consumo de água de 481 edificações do DF, agrupando-os por renda e tipologia. Assim, montou o perfil do uso final da água e criou uma linha base (sem métodos de conservação). A partir daí, criou uma linha de consumo reduzido com cada alternativa de conservação de água (equipamentos economizadores de água - EEA, aproveitamento da água da chuva - AAC e reúso de águas cinzas - RAC). Utilizando uma análise de custos incremental num horizonte de 30 anos, determinou a melhor alternativa para cada grupo, sendo recomendável para renda baixa e média-baixa o reúso de água cinza utilizando a prática tonel-balde, para média-alta o uso do RAC e alta o uso do AAC.

Sant'Ana & Medeiros (2016) desenvolveram modelos representativos das residências do DF. O trabalho comparou três cenários: o primeiro com aplicação na lavagem do piso e irrigação; o segundo com lavagem do piso, descarga da bacia sanitária e irrigação; e o terceiro com lavagem do piso, descarga da bacia sanitária, lavagem de roupas e irrigação, aplicando-os no aproveitamento da água de chuva e de reúso de água cinza. Concluíram que, para a renda alta, a melhor opção é o emprego do aproveitamento da água de chuva. Para a renda média-alta, o RAC foi a melhor opção e, para as faixas de renda média-baixa e baixa, a única medida rentável foi a prática do tonel e balde.

Os benefícios da alternativa de aplicação do aproveitamento da água de chuva em bacias sanitárias em 984 edificações residenciais de Lipari, no sul da Itália – que era abastecida por meio de dessalinização – foram analisados por Campisano et al. (2017). O estudo concluiu que o emprego da alternativa supracitada poderia economizar de 30% a 40% de água com tempo de retorno máximo de 15 anos.

Com metodologia similar, Oviedo-Ocaña et al. (2018) avaliaram a viabilidade econômica do emprego de reúso de águas cinzas e do aproveitamento da água de chuva em casas de renda baixa em Bucaramanga (581 mil habitantes, PIB *per capita* de R\$ 59.883,20), na Colômbia. Foram utilizadas 35 residências como espectro amostral, todas com consumo acima de 203 L/hab/dia. O método econométrico foi aplicado ao aproveitamento da água

de chuva e ao reúso de águas cinzas. Obteve-se um tempo de retorno de 23 anos para a alternativa da água de reúso de águas cinzas, 44 anos para o aproveitamento da água da chuva e 29 anos para o uso combinado.

Numa tendência do uso de uma escala maior, o cenário começa a ser difícil de ser modelado, com semelhanças ou divergências entre partes interessadas, com visões diferentes do processo (Linkov et al., 2006), características complexas do aspecto ambiental – que envolvem diversas variáveis, dimensões, critérios e alternativas de decisão (Roozbahani et al., 2015). Todos estes fatores ainda não eram considerados, estando os modelos sujeitos a muitas incertezas (Graywater, 2016). Assim, surge a ideia do uso da abordagem multicritério e multiobjetivo, principalmente por ter um resultado diferente, mesmo com a existência dos fatores citados, bancos de dados com baixa confiabilidade, necessidades divergentes entre atores, pluralidade das ideias e soluções do ser humano (Freeman & McVea, 2001). A antiga informalidade ou intuitividade das decisões são postas de lado, buscando-se abordagens sistemáticas e estruturadas (Meirelles & Gomes, 2009). Neste processo, o gestor estabelece as preferências envolvidas num problema e toma a decisão racional, que atende a todos os atores, sem detrimento a qualquer parte, conforme o ótimo de Pareto.

Um estudo de caso em um condomínio com 1.729 casas, no México, foi proposto por García-Montoya et al. (2016). O objetivo era mostrar a aplicabilidade do sistema de reúso de água e do aproveitamento da água de chuva. Foi utilizado o custo anual e consumo de água potável como as duas funções objetivas. Na escolha da melhor alternativa, utilizaram o princípio do ótimo de Pareto aplicado ao ciclo de vida, demonstrando que é possível atender a demanda por água e melhorar os outros objetivos citados.

Com a aplicação de um método mais diferente do tradicional, 47 edificações de alta renda, em Limeira/SP, foram pesquisadas. As alternativas foram hierarquizadas pela utilização dos métodos ELECTRE I e do ELECTRE II. Os critérios selecionados foram: a variação da tarifa, racionamento, campanha educacional, reúso e economizadores. A adoção de campanhas educacionais demonstrou ser a melhor solução em todas as simulações, ficando o uso de economizadores na segunda posição (Santos, 1991).



Usando o ELECTRE III, Lobato (2005) levantou dados de consumo, por meio do teste AQUA<sup>3</sup> (avaliação quantitativa do uso da água), de uma edificação residencial de Curitiba. Utilizou cenários com economizadores de água, utilização de água cinza em bacias sanitárias, medição individualizada e aproveitamento de água da chuva para lavagem. O pesquisador comparou as alternativas pelos critérios: custo de implantação e operação, alcance do abastecimento, período de retorno, risco microbiológico, impacto no sistema e redução do consumo *per capita*. O peso desses critérios foi calculado e a redução do consumo atingiu o maior peso, seguida de impacto no sistema. A alternativa preferencial foi o uso dos aparelhos economizadores de água.

Utilizando o método PROMETHEE V, um estudo num distrito de Recife, com 50 mil habitantes foi conduzido por Batista et al. (2015). Tal estudo utilizou as alternativas de reúso de águas, educação ambiental, economizadores de água, uso de água de chuva, medidas relacionadas à operação do sistema de distribuição de água e a qualidade do esgoto, todos de forma independente. Os critérios usados foram investimento inicial, manutenção, tempo de resposta, rejeição da população, redução de consumo e eficiência do método. Cada critério teve seu peso definido pelo decisor, destacando-se o consumo e a parte financeira com maior peso. Ao final, a alternativa de controle de perdas na rede de distribuição foi destaque. Na sequência, vieram as alternativas de diminuição do consumo, seja por métodos tecnológicos ou educacionais.

Aumentando o espectro de análise, inovando com a análise em edificações a serem construídas e a serem reformadas, Vianna & Souza (2019) analisaram oito alternativas para conservação de água em cada tipo de edificações. O trabalho utilizou os métodos ELECTRE III e o TOPSIS, comparando a resposta do método da escola francesa, comumente utilizado, com a escola americana. A fim de comparar as alternativas, alguns critérios foram selecionados: valor presente líquido, custo de implantação, custo de operação, tempo de retorno, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), coliformes fecais, volume de água reduzido do consumo final, volume de água desperdiçado, volume de água complementar, quantidade de lodo, risco à saúde, risco anual de falta de água, interferências ao morador, área ocupada, consumo de energia

---

<sup>3</sup> É um questionário sobre o comportamento do usuário e sua percepção quanto a aceitabilidade de fontes alternativas

e complexidade do sistema. Obteve-se como alternativa preferencial, em ambos os casos, a utilização de economizadores, seguido do aproveitamento da água da chuva.

Albuquerque (2004) extrapolou a análise para a dimensão bairro, com um modelo formado por uma amostra de 32 casas, 03 edifícios residenciais e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O estudo analisou o Bairro Universitário, em Campina Grande/PB, com foco no uso da ferramenta multicritério AHP, da escola americana. Utilizou-se como alternativas o uso dos economizadores, o aproveitamento da água de chuva, o reúso de águas cinzas e medição individualizada. A alternativa preferencial foi o uso de equipamentos economizadores de água, em particular, a bacia sanitária de volume reduzido.

A revisão bibliográfica de Cureau & Ghisi (2019) confirmou que poucos estudos de conservação de água foram feitos em larga escala. Diante disso, eles estudaram a cidade de Joinville, que tem 486 mil habitantes e PIB *per capita* de R\$47.442,90. Utilizaram as alternativas de bacias *dual flush*, reúso de água cinza, aproveitamento da água de chuva e suas combinações. Com dados de outras pesquisas, criaram uma faixa de mínimo, máximo e taxa de adesão de 25%, 50% e 75%. As casas foram as amostras mais significativas na redução do consumo e diminuição do volume de esgoto. O uso de todas as alternativas reduziu o consumo urbano de 12,1% a 50,5%, e apenas o reúso de água cinza diminuiu de 10,7% a 40,1%.

Pelo compendio feito até este momento, nota-se uma evolução dos estudos de uma única alternativa para a combinação de várias alternativas, tendo um aumento do número de amostras. A mudança na metodologia, deixando de ser apenas capitalista e considerando outros objetivos diminuiu as incertezas. Porém, até o presente momento, ninguém observou e estudou que a diminuição do consumo de água poderia afetar a concentração do esgoto e operação das ETE. De modo indireto, Marinoski & Ghisi (2019) avaliaram a economia de energia elétrica na operação das ETA e ETE, com a utilização de *wetland*, pela análise do ciclo de vida.

Na mesma linha de pesquisa e buscando a redução de energia elétrica, relacionada à conservação de água, Proença et al. (2011) aproximaram-se deste novo enfoque. Eles utilizaram 3 edifícios multifamiliares, 2 casas, 10 prédios comerciais e 10 escritórios com o uso de descarga sanitária tipo *dual flush*, reúso de água cinza para as descargas supracitadas e complemento da demanda não potável com o aproveitamento da água de

chuva. Este modelo proporcionou uma redução de 30% no consumo de água residencial e de 2.064.968 m<sup>3</sup> de esgoto. Em relação ao consumo de energia, houve a economia de 4.4 GWh/ano, o que representa o consumo do estado de Alagoas em 2018 (Yearbook, 2019).

Observa-se que a maioria dos trabalhos realizados até o momento tem tratado da necessidade da implantação de alternativas de conservação de água isoladamente ou de forma combinada e aplicados a uma única edificação ou em pequenas amostras (casa e apartamentos). Além disso, a maioria dos estudos utilizou conceitos econométricos ou volumétricos, não tratando o problema de modo multiobjetivo. Os trabalhos que buscaram soluções para conservação de água em edificações residências de forma multiobjetiva, limitam-se em analisar as alternativas individualmente, o que pode não apresentar a realidade do problema, dentro de uma disponibilidade de soluções e numa variedade de atores.

Em geral, os estudos tratam da diminuição da demanda por água com olhar sob aspectos preponderantes ao meio ambiente e à economia para o cidadão, além de serem limitados a poucas edificações. A extrapolação do modelo, de micro para o macro, tende a produzir incertezas não controladas. Além disto, outro aspecto não tratado é a influência das alternativas de conservação de água no esgoto, nas ETE e na qualidade dos rios, colaborando para a conservação dos recursos hídricos.

Dos pesquisadores citados, apenas Cureau & Ghisi (2019) aproximam-se do objeto desse estudo. Eles fizeram um estudo de caso na cidade de Joinville, com 1.131 km<sup>2</sup> e população de 509.466 (IBGE, 2020). Analisaram residências, comércio e áreas públicas, tendo um contexto diversificado, o que contribuiu para o aumento das incertezas. Consideraram a diminuição do volume de água e esgoto, utilizando os potenciais de economia no consumo de água, tendo como alternativa apenas a substituição das bacias sanitárias. Um dos resultados foi a perspectiva de redução da demanda de água em até 50% e de até 52% na produção de esgoto. A Tabela 1 compara os estudos apresentados.

Tabela 1- Comparação dos estudos

Estudos	Escala		Uso do MMC	Atores				Métodos de conservação de água utilizados	Utilizou questionário para poço?	Considerou volume de esgoto?	Considerou a qualidade dos rios?
	Pequena	Grande		Sociedade	Governo	Concessionária	Meio Ambiente				
Cureau & Ghisi (2019)		x		x			x	RAC AAC		x	
Marinoski & Ghisi (2019)		x		x			x	RAC		x	
Proença et al. (2011)	x			x			x	RAC AAC EEA		x	
Vieira & Ghisi (2016)	x			x			x	RAC AAC EEA		x	
Graywater (2016)		x		x			x	RAC AAC	x		
Santos (1991), Lobato (2005), Batista et al (2015), Vianna & Souza (2019), Albuquerque (2014)	x		x	x			x	RAC AAC EEA	x		
García-Montoya et al. (2016)		x	x	x			x	RAC AAC			
Campisano et al. (2017)		x		x			x	AAC			
Mandal et al. (2011), Leal (2013)	x			x			x	RAC			
Liaw & Chiang (2014)	x			x			x	AAC			
Domínguez et al. (2017), Oviedo-Ocaña et al. (2018), Ghisi & Ferreira (2007), Ghisi & Mengotti de Oliveira (2007)	x			x			x	RAC AAC			
Sant'Ana (2011)	x			x			x	RAC AAC EEA	x		
Rozos et al. (2011)	x						x	RAC AAC			
Este estudo		x	x	x	x	x	x	RAC AAC EEA	x	x	x

Enquanto isso, esse estudo tem como local de estudo o Distrito Federal, com quase 6.000 km<sup>2</sup> e população de 3.094.325 (IBGE, 2021), tendo a maior parte de sua ocupação sendo residencial, favorecendo o uso da divisão em regiões administrativas, mantendo as suas peculiaridades de renda, consumo, entre outras, sem aumentar incertezas. Outro aspecto inovador é a análise da variação da concentração de DBO, OD disponível dos rios, assim como sua classificação segundo a resolução CONAMA 357/2005. A análise das condições de operação da concessionária local também é item inédito neste contexto, podendo ser avaliada o reflexo da conservação de água nas finanças da concessionária

por exemplo. Por último, a decisão multiobjetivo multicritério aplicada a esse estudo permitiu interagir os decisores sociedade, governo, concessionária e meio ambiente.

Assim, para suprir tal lacuna do conhecimento no que tange à aplicação de alternativas de conservação de água em grande escala, com apoio de MMC, utilizando projeções financeiras da concessionária e sob a óptica da ETE, este estudo propõe uma análise da aplicação de alternativas de conservação de água, por meio de estratégias que produzem o melhor desempenho ambiental, social e econômico no DF. A análise de desempenho do DF foi realizada por cada uma de suas regiões administrativas, agrupadas conforme suas respectivas ETE. O trabalho inclui ainda a análise da quantidade e qualidade dos esgotos, assim como o tempo de depuração nos respectivos rios (fator crítico nos rios brasileiros devido à sua baixa vazão), minimizando a contaminação a jusante, garantindo o funcionamento adequado das ETE e aumentando a disponibilidade hídrica pela redução da demanda. Para tanto, foram utilizados como atores, a sociedade, o meio ambiente, a concessionária e o governo; com os critérios de investimento, *payback* simples e vontade de implantar; redução da exploração de recursos hídricos, variação no enquadramento do corpo hídrico e DBO no corpo hídrico; balanço final e custo de tratamento do esgoto; comprometimento da renda familiar e atendimento do crescimento da população.

Diante do exposto, tem-se que a sociedade, o meio ambiente, a concessionária e o governo podem influenciar na escolha de soluções ótimas para promover a conservação de água no meio urbano.

## 1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo propor uma metodologia para identificar soluções ótimas voltadas à conservação de água em edificações residenciais em termos dos benefícios ambientais e econômicos gerados na macro escala urbana. Como objetivos específicos, este estudo pretende:

- Definir e caracterizar as regiões administrativas;
- Caracterizar e relacionar as regiões administrativas com as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE);
- Propor a avaliação do desempenho das diferentes alternativas de conservação de água;
- Aplicar os métodos multicritério e multiobjetivo para hierarquizar as

alternativas.

### 1.3 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese se apresenta em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo introdutório foi realizada uma contextualização do cenário mundial e nacional do estresse hídrico. A seguir, diversos estudos de conservação de água foram apresentados, expondo a lacuna do conhecimento.

#### **Capítulo 2: Revisão Bibliográfica**

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, mostrando a conjuntura atual do Distrito Federal. Na sequência, o capítulo aborda estudo e soluções para a conservação de água, incluindo uma análise da qualidade da água e socioeconômica. Além disto, o fenômeno da autodepuração é explicado e suas equações apresentadas. Por fim, os métodos multicritério-multiobjetivo foram apresentados, destacando sua importância.

#### **Capítulo 3: Metodologia**

No terceiro capítulo está a metodologia, com as etapas dos processos empregados neste texto. Primeiramente foram tratadas as regras de tarifação, seguida pelo equacionamento para o reordenamento das RA em ETE. Os critérios foram estabelecidos com suas metodologias de cálculo e um processo de triagem para diminuir o número de alternativas a serem processadas pela ferramenta MMC. Por fim, os métodos de verificação da sensibilidade do MMC e confiança do questionário foram apresentadas.

#### **Capítulo 4: Resultados**

No quarto, está o resultado da aplicação da metodologia no estudo de caso do DF, desde os valores parciais até a hierarquização final. Inicialmente foram calculados dados da Regiões Administrativas (RA) e reorganizados segundo as estações de tratamento de esgoto (ETE). Na sequência, dados similares às RA foram calculados para as ETE. Cada alternativa de conservação de água foi aplicada e ao final verificou-se o desempenho de cada uma.

## **Capítulo 5: Conclusão**

O último capítulo resume o estudo realizada, elencando algumas conclusões, descreve as contribuições para o conhecimento e destaca o potencial para trabalhos futuros.

Em particular, o capítulo mostra a importância das alternativas referentes ao reúso de água cinza, as quais tiveram boa classificação na hierarquização. Por outro lado, o trabalho mostra a baixa priorização do uso dos equipamentos economizadores de água.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diante das lacunas do conhecimento apresentadas na introdução, o presente capítulo teve por objetivo subsidiar os dados da metodologia, citar os estudos que serviram de comparação ou apoio, fazendo parte do cenário da pesquisa. Assim, um breve enfoque na conjuntura atual dos recursos hídricos e no DF, estudo de caso, foi realizado. Os métodos de conservação de água e os estudos correlacionados apresentados. O equacionamento do processo de autodepuração utilizado nas ETE citado. Por fim, foi discorrido sobre os MMC e sua importância na metodologia.

### 2.1 CENÁRIO ATUAL

Durante muitos anos o ser humano considerou a água como um recurso infinito. Contudo, o uso inadequado, a demanda crescente, as mudanças climáticas e o desmatamento colaboraram para a diminuição da disponibilidade da água e, conseqüentemente, para a mudança no modo de pensar sobre o uso da água (Capellari & Botti Capellari, 2018). Nesse contexto, a água passa a ser considerada um recurso natural de direito humano (ONU, 2014), que deve estar disponível e compartilhado mundialmente, porém com seu uso sendo feito de forma responsável e controlada.

O uso pelas atuais gerações não pode impedir o uso pelas gerações futuras (ONU, 2020a) – sendo a água, portanto, um bem indispensável, social e cultural (Noschang & Scheleder, 2018). O valor econômico deveria ser utilizado apenas para controlar a demanda da sociedade (Shubo, 2003). A esse equilíbrio entre oferta e demanda, utilizando vazões de captação inferiores à resiliência dos mananciais (Sood & Ritter, 2011), chamou-se de sustentabilidade hídrica.

A urbanização mundial, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico concentrado em 17 países (Caleiro, 2020) têm provocado um aumento expressivo no consumo mundial de água. Em 1900, o consumo global era de 580 km<sup>3</sup>. Em 1950, de 1.400 km<sup>3</sup> e no ano 2000, de 4.000 km<sup>3</sup> (Worldometer, 2020). Neste cenário de consumo ascendente, com a oferta de água diminuindo e o aumento da pressão pública, caracteriza-se o estresse hídrico (Li *et al.*, 2020), que é piorado pela ineficiência da administração pública e pela variação climática (Zarghami & Akbariyeh, 2012).



Um estudo recente fez a correlação entre diversas variáveis e a escassez hídrica em uma região do norte da China, que representa 2,35% do imenso país (**grande escala**). Foi observado que a escassez ocorreu predominantemente em áreas de maior nível de urbanização e maior crescimento demográfico. O trabalho ressalta ainda que a ocorrência da escassez física (natural) é menor que aquela induzida por ação do homem (Li *et al.*, 2020).

A variação climática mundial é considerada como o principal fator do estresse hídrico (Milano *et al.*, 2015). Até o ano de 2070, espera-se um aumento da temperatura média global em até 5,8°C, com mudanças no regime das chuvas, tanto na sua intensidade como na distribuição – exemplificado pelas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil que desde 2012 (Fayer *et al.*, 2017) sofrem com o aumento do nível do mar, redução da umidade do solo e ocorrência de eventos extremos (DeNicola *et al.*, 2015). A maioria destes fenômenos não estão previstos nos modelos climatológicos atuais, o que dificulta os alertas e o planejamento. De 2013 a 2016, a operação dos modelos foi considerada satisfatória, mas ainda assim, 7,7 milhões de pessoas sofreram com as consequências das cheias (ANA, 2017). Num cenário mais grave, a população precisará adaptar-se rapidamente ao novo clima e buscar mitigar as futuras crises com conscientização, políticas públicas eficientes e planejamento, todas associadas a um alto custo (Jaeger *et al.*, 2017).

Essas variações climáticas na demanda foram estudadas por Haque *et al.* (2016) em regiões de Sydney, na Austrália. A premissa foi que o aquecimento global altera o comportamento, frequência e magnitude das chuvas, afetando o AAC. Com os resultados obtidos, notou-se uma redução no volume das chuvas de 14% a 34%, tendo uma diminuição na confiabilidade do AAC em até 31%, já que os tanques de armazenamento permanecerão vazios por mais tempo.

No Brasil, em particular, o estresse hídrico tem uma predominância de pontos críticos na região Nordeste, no Sudeste e no Distrito Federal. Dos quinze estados com maior risco de escassez, oito são da região Nordeste. Nos estados de Rondônia, Mato Grosso, Amazonas, Roraima, Acre e Amapá o risco é praticamente nulo. Nesse cenário há o Distrito Federal, com bom atendimento de água e esgoto, mas uma disponibilidade hídrica baixa, um alto consumo e desequilíbrio na oferta-demanda.

O Distrito Federal está na região Centro-Oeste do Brasil, apresentando áreas de proteção ambiental consideráveis (Aguiar Junior, 2011) e com várias nascentes, que apresentam alta qualidade de água, mas baixas vazões (Renan, 2017). Está num clima caracterizado pelos períodos secos, onde a precipitação fica abaixo de 60mm, menor que a média mensal, porém, maior que a taxa de evapotranspiração anual, com períodos de secas com temperaturas baixas e as maiores chuvas concentradas em poucos meses (ANA, 2002).

Diante disto, o planejamento da construção da capital teve como premissa uma situação de independência hídrica (Aguiar Junior, 2011), tendo o consumo dos meses de seca sendo compensados pelo volume armazenado pelo volume dos outros meses, estabelecendo um modelo, que, hoje, atende uma densidade populacional de 445hab/km<sup>2</sup> (GDF, 2020).

Entre as regiões do Brasil, o potencial de economia de água do DF é o terceiro melhor (Ghisi, 2006). A capital do país possui a maior taxa de crescimento populacional, já foi a maior consumidora de água *per capita* do Brasil e possui o maior PIB nacional (Vieira *et al.*, 2017). A Tabela 2 ilustra este consumo ao longo dos anos. Desta tabela é possível notar uma redução no consumo durante a crise hídrica ocorrida entre 2013 e 2018. Entretanto, o índice de consumo *per capita* tem aumentado, numa tendência de recuperação de seu valor (CODEPLAN, 2021). Fato similar ocorreu em São Paulo, quando o volume produzido de água foi de 3.053 milhões de m<sup>3</sup> em 2013, 2.783 milhões de m<sup>3</sup> em 2017, e em 2021 está em 2.865 m<sup>3</sup> (SABESP, 2022). Os dados de ambos os locais ratificam que as medidas de conservação de água não foram devidamente implantadas e sim acionadas num momento pontual de crise, sem projeção futura.

Tabela 2- Consumo de água histórico do DF

Ano	População	Consumo <i>per capita</i> (L/hab/dia)
2007	2.434.033	182,9
2008	2.557.158	175,6
2009	2.606.884	172,1
2010	2.570.160	183,3
2011	2.609.998	189,7
2012	2.648.532	188,8
2013	2.789.761	189,9
2014	2.852.372	180,5
2015	2.848.633	153,7
2016	2.890.224	150,5
2017	2.931.057	132,4
2018	2.974.703	135,2
2019	3.015.268	145,9
2020	3.094.325	142,1

Fonte: Adaptado de SNIS (2019) e Brasília (2020)

Assim, este estudo de caso ocorre no Distrito Federal, mas poderá ser aplicado a qualquer cidade, sem distinção. A escolha do DF deu-se em virtude de sua característica predominantemente residencial (CODEPLAN, 2014), do fato de ser a capital do país, possuir a maior taxa de crescimento populacional do Brasil por ter enfrentado uma recente escassez hídrica e da facilidade ao acesso as informações pela UNB. Além disso, a alteração na qualidade de seus rios pode influenciar trechos a jusante, que estão em outros estados, como Goiás, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, Maranhão e Pará.

A situação hídrica do DF tem suas singularidades devido ao seu grande crescimento populacional num curto período, menos de 60 anos de existência. São aproximadamente 3 milhões de habitantes consumindo 5.230L/s de água potável. Entretanto, devido às perdas no sistema, a captação nos rios é de 7.000 L/s. Durante os horários de pico, essa captação aproxima-se ao limite operacional máximo instalado da CAESB de 11.000 L/s (Freitas *et al.*, 2018). O aumento do consumo de água diário no DF, seja pelo crescimento da demanda ou pelo aumento populacional está ilustrado na Figura 1.

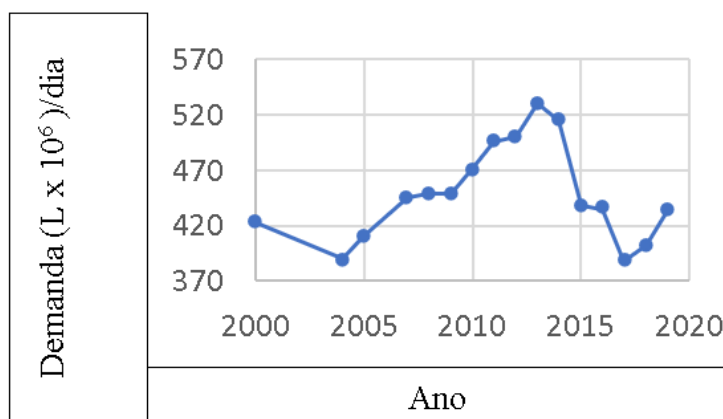


Figura 1-Demanda diária histórica de água no DF  
Fonte: adaptado de SNIS (2019)

Além do crescimento populacional, destaca-se a diminuição pluviométrica no Distrito Federal, o que também aconteceu em outros estados e o aumento da temperatura. Todos estes fatores colaboram para o aumento da demanda e diminuição da disponibilidade da água.

O consumo de água no DF é predominantemente residencial, conforme mostra a Figura 2. O impacto do setor industrial é praticamente desprezível, em função de sua baixa

participação. Os consumos comercial e público são equivalentes, mas ainda inferiores às perdas no sistema.

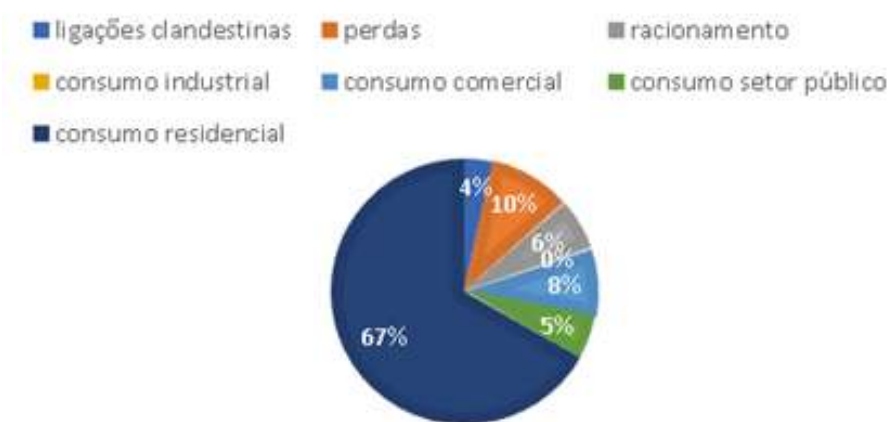


Figura 2- Os destinos da água potável no DF  
Fonte: CAESB (2018a)

O volume de esgoto resultante do consumo citado é tratado nas quatorze ETE (Estação de tratamento de esgoto) que desaguam nos diversos rios do DF, conforme Tabela 3. Nela é possível relacionar a ETE, o rio em que desagua o esgoto, a classe da CONAMA 357, o limite de DBO para aquela classe.

Tabela 3- Os rios que recebem os esgotos das ETE do DF

ETE	Rio	Classe	DBO máx.
Recanto das Emas	Córrego Vargem da Benção	4	>10
Sul / Norte	Lago Paranoá	2	5
Riacho Fundo	Riacho Fundo	3	10
Planaltina	Ribeirão Mestre D' Armas	3	10
São Sebastião	Ribeirão da Papuda	3	10
Gama	Ribeirão Ponte Alta	3	10
Sobradinho	Ribeirão Sobradinho	3	10
Alagado / Santa Maria	Rio Alagado	3	10
Samambaia / Melchior	Rio Melchior	3	10
Brazlândia	Rio Verde	2	5
Paranoá	Rio Paranoá	2	5

Fonte: CAESB (2018b), BRASIL (2014) e ADASA (2011)

Através de pesquisa na literatura, foi possível relacionar cada ETE a suas respectivas RA, conforme Tabela 4.

Diante do desague dos efluentes nos rios, fez-se necessário analisar as vazões deles. Para tanto, estudaram-se algumas vazões:

- Q90 é a vazão em 90% daquele período, as vazões foram iguais ou superiores a este valor, ou seja, 90% de garantia de que naquela seção do curso d'água as

vazões sejam maiores do que o Q90;

- Q95 é similar a Q90, entretanto a garantia corresponde a 95% do tempo de observação;
- Q7,10 é a menor vazão média consecutiva de sete dias que ocorreria com um período de retorno de uma vez em cada 10 anos;
- Qmmm é a vazão mínima entre as médias mensais;
- Qmlt é a vazão média de longo termo, calculada para o local do aproveitamento, considerando o período seco e para o período chuvoso.

Tabela 4- Relação das ETE com suas respectivas RA

ETE	RA	ETE	RA
Brazlândia	Brazlândia	Sobradinho	Sobradinho
Gama	Gama	Sobradinho	Sobradinho II
Melchior	Ceilândia	Brasília Sul	Park Way
Melchior	Taguatinga	Brasília Sul	Águas Claras
Melchior	Vicente Pires	Brasília Sul	Candangolândia
Brasília Norte	Lago Norte	Brasília Sul	Cruzeiro
Brasília Norte	Varjão	Brasília Sul	Guará
Brasília Norte	Plano Piloto	Brasília Sul	Lago Sul
Brasília Norte	SCIA - Estrutural	Brasília Sul	Núcleo Bandeirante
Paranoa	Itapoã	Brasília Sul	S I A
Paranoa	Paranoá	Brasília Sul	Sudoeste/Octogonal
Planaltina	Planaltina	Sobradinho	Fercal
Recanto das Emas	Recanto das Emas	São Sebastião	Jardim Botânico
Recanto das Emas	Riacho Fundo II	São Sebastião	São Sebastião
Riacho Fundo	Riacho Fundo	Samambaia	Samambaia
Santa Maria	Santa Maria		

Fonte: adaptado de CAESB (2018a)

Ilustrando tais definições, a Figura 3 demonstra por meio de gráficos a maioria das vazões.

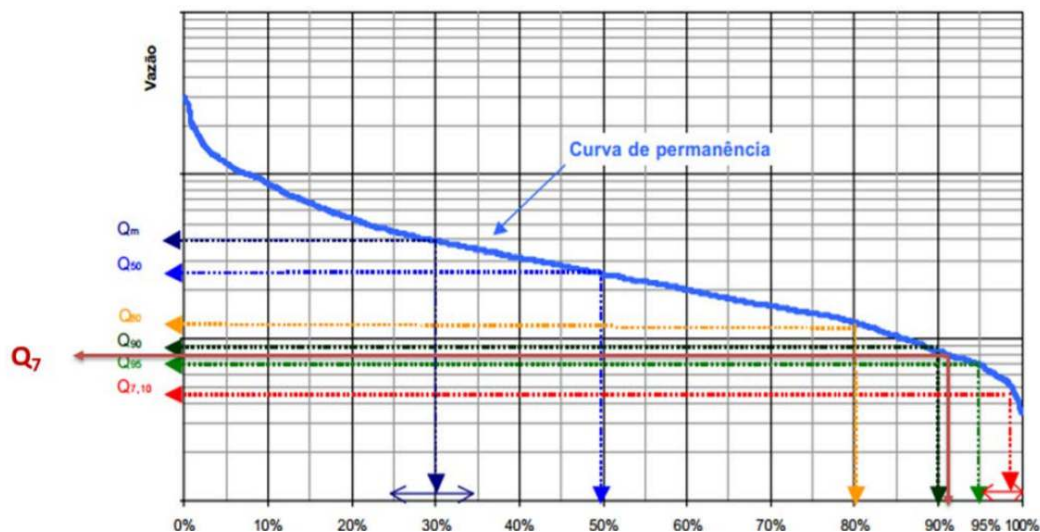


Figura 3- Relação entre as vazões com a curva de permanência

Fonte: De Oliveira et al. (2016)

A Tabela 5 exibe os valores das vazões dos rios de interesse deste estudo. Neste estudo foi adotada a vazão Q90.

Tabela 5- Principais vazões dos rios do DF

Rio	Qmmm <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Q7,10 <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Q90 <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Qmlt <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s)
Córrego Vargem da Benção	0,2	0,07	0,297	0,54
Lago Paranoá	1,51	4,7	9,1	18,838
Riacho Fundo	1,50	0,93	1,89	3,18
Ribeirão Mestre D' Armas	0,77	0,317	0,916	2,849
Ribeirão da Papuda	0,33	0,22	0,54	0,96
Ribeirão Ponte Alta	1,49	1,226	2,2	5,162
Ribeirão Sobradinho	0,742	0,65	1,25	2,83
Rio Alagado	2,66	2,00	3,58	8,49
Rio Melchior	1,31	0,83	1,36	3,23
Rio Verde	0,01	-	0,844	0,03
Rio Paranoá	5,12	4,02	7,18	18,88

Fonte: ADASA (2017)<sup>2</sup>, ADASA (2019b)<sup>1</sup>, Águas et al. (2021)<sup>3</sup>

## 2.2 A CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

Apesar de existirem diversas definições de conservação de água, como qualquer ação que reduza a quantidade de água extraída da natureza (Manca, 2008), este trabalho adotou a definição de norma, que considera um conjunto de ações que buscam diminuir a quantidade de água consumida (gestão na demanda), preferencialmente, e/ou ofertar, num segundo momento, fontes alternativas de água (ABNT, 2019). Platão, entre 427 e 347 a.C, já ressaltava a necessidade do uso da água disciplinado (Pinto-Coelho & Havens, 2015). As pesquisas atuais já demonstraram que a eficiência depende da localidade, das culturas e tipologias (Willis *et al.*, 2011). A diferença climática e a semelhança do perfil de uso entre os diversos estudos foram ressaltadas por Sant'Ana (2011), que enfatizou a variação do consumo *per capita* de 98 a 263 L/hab/dia em 14 países. Essa grande faixa de valores carece do gerenciamento da diminuição da demanda e deve ser ajustado de forma criteriosa, com planejamento adequado e a longo prazo (Garrote *et al.*, 2016).

As principais ações de conservação de água em edifícios são, em geral, a redução dos usos consuntivos, a redução do desperdício ou das perdas de água, aumento da eficiência dos equipamentos, aproveitamento da água da chuva e o reúso da água cinza (Cureau & Ghisi, 2019). Cada uma dessas ações é mais adequada a um tipo de edificação, considerando sua localização, população e renda.

Os economizadores de água são aparelhos que reduzem a vazão ou limitam o tempo de acionamento do dispositivo, sendo facilmente instalados. O sistema de aproveitamento da água de chuva funciona de modo que a água é coletada pela cobertura da edificação, transportada por condutores e armazenada em reservatórios, podendo sofrer algum tipo de tratamento de acordo com o seu uso e a sua qualidade (Vianna & Souza, 2019). O reúso de água mais comum é o reúso das águas cinzas cuja fonte é segregada e tem aplicação não potável. Nele, as águas provenientes da banheira, chuveiro, área de serviço e lavatórios, em geral, que possuem baixo teor de poluentes, são recolhidas por tubulações distintas da água negra, tratada e armazenada para uso posterior (Vianna & Souza, 2019).

Os fatores que favorecem a economia de água foram pesquisados por Manouseli et al. (2019), utilizando residências da Inglaterra. Os pesquisadores aplicaram a regressão multiníveis<sup>4</sup> numa amostra de 451 moradias e notaram que um aumento de 10% na temperatura máxima implica em um aumento de 0,3% no consumo *per capita* (cpc), enquanto o aumento na incidência do número dos dias chuvosos em 10% leva a uma redução de 0,33% no cpc. Outro aspecto da pesquisa foi a ratificação da relação da renda e do *status* social com o consumo de água, caracterizando as áreas mais humildes com menor consumo e baixa capacidade de redução dele.

A atitude da população foi observada por Willis et al. (2011), mostrando que o comportamento é diretamente proporcional ao consumo de água. Numa pesquisa na Austrália, os pesquisadores analisaram a diferença de consumo de água entre pessoas com perfil de baixo e alto conhecimento sobre conservação de água. Os itens de avaliação do perfil do consumidor foram: conhecimento dos modos de economizar água, os benefícios desta ação, monitoramento do uso de água, saber ler um hidrômetro e conhecer a relação entre comportamento e consumo de água. A conclusão ratificou a hipótese, comprovando a distinção de consumo entre os perfis. O mesmo autor estudou, em 2013, a relação do consumo de água e o contexto sociodemográfico, composto por fatores como renda, tamanho da família e tamanho do terreno/casa. Os resultados reforçaram a teoria de que as relações entre o consumo de água e os aspectos sociodemográficos são dependentes.

---

<sup>4</sup> Trata-se de uma evolução da utilização das equações de regressão linear, a qual é possível controlar o grau de dependência a variáveis de diferentes níveis hierárquicos e suas interações

Nessa mesma ideia, Fidar et al. (2016) concluíram que a variação no consumo de água das torneiras depende mais do comportamento do usuário do que da tecnologia dos EEA.

A Agenda 2030 ressaltou a importância do tema ao propor a tomada de medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos, garantindo a disponibilidade, gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU, 2020b). Porém, a implantação das ações necessárias à conservação de água depende de investimentos. No Brasil, o valor médio gasto com esse objetivo é de 0,59% do PIB (Oliveira & Ferreira, 2017), aquém do necessário para otimização do planejamento estratégico. Em ordem de grandeza, o investimento citado foi inferior aos valores aportados nas áreas de transportes, energia elétrica e telecomunicações (Negócios, 2016).

Na busca por alternativas de conservação de água mais eficientes, diversos estudos foram realizados nos últimos anos, cada qual com suas particularidades. A medição individualizada, que passou a ser obrigatória por força da Lei Federal nº 13.312/2016, propicia o pagamento justo pelo consumo real, incentivando a conscientização e indicando as UH (unidade habitacional) de maior consumo. Os economizadores destacaram-se pela redução na demanda, baixo custo e facilidade de instalação na maioria dos casos (Saurí, 2013). A exceção é a substituição de válvulas de descarga por caixa acoplada, a qual requer uma operação mais complexa devido à diferença no afastamento do ponto de esgoto em relação a parede. O aproveitamento da água de chuva, que já era utilizado pelas civilizações primitivas por meio de técnicas rudimentares, possui a vantagem de ter poucos contaminantes, constituídos, em sua maioria, pela poluição do ar, insetos, folhas, penas de aves e excrementos (Ghanayem, 2001). Os sistemas de reúso de água são utilizados desde as antigas civilizações na Grécia (Giacchini, 2011) e hoje contam com diversas aplicações e sistemas de tratamento cada vez mais eficazes.

Diversos estudos utilizam as faixas de renda como fator de aplicabilidade do dispositivo de conservação de água. Assim, neste trabalho, padronizou-se as faixas conforme CODEPLAN (2022): classe alta renda, com renda mensal domiciliar superior a R\$ 10 mil; classe renda média-alta, com renda mensal domiciliar entre R\$ 10 mil e R\$5 mil; classe renda média-baixa, com renda mensal domiciliar entre R\$ 2,5 mil e R\$ 5 mil; classe baixa, com renda mensal domiciliar até R\$ 2,5 mil.



### 2.2.1 Os equipamentos economizadores de água

O desempenho de equipamentos economizadores de água (EEA) foi avaliado em diversas pesquisas. Willis et al. (2013) utilizaram uma amostra de 151 casas na Austrália. Por meio de medições com aparelhos de tecnologia inteligente, constataram que um chuveiro com baixa eficiência consome até 64,7 L por banho, enquanto um de alta eficiência consome 33,6 L (quase a metade). As máquinas lavadoras de roupa (MLR) têm consumo entre 53 L até 14,4 L. Assim, o investimento em um chuveiro e uma MLR de alta eficiência podem produzir uma economia de até 60% no consumo de água.

A evolução das tecnologias tem facilitado as atividades relacionadas à conservação de água, seja pelos equipamentos de menor consumo (como a lava-louças e lava roupa), pela irrigação controlada e até pelos filtros que dispensam o esvaziamento e enchimento de piscinas. O reparo de vazamentos nos banheiros, realizado na Flórida, São Francisco e Califórnia, mostrou-se viável e com alto potencial de economia, exceção aos casos em que, comumente, algumas atitudes humanas modificam o funcionamento dos EEA (Saurí, 2013). Por exemplo, na Inglaterra e nos Estados Unidos a população desacreditava da descarga sanitária econômica com um único toque e passou a utilizar dois toques, aumentando o consumo. Entre as políticas governamentais, o autor cita o subsídio para implantação de novas tecnologias de conservação de água, campanhas educacionais, proibição do uso de água potável para determinados fins e reforçam que a queda da receita das concessionárias devido à diminuição do consumo precisa ser compensada de alguma forma, nem que seja com aumento tarifário ou diminuição dos impostos, o que pode criar dificuldades para a manutenção dos subsídios para as famílias de baixa renda. Entretanto, destaca que a privatização pode colaborar com a solução desses problemas devido à gestão mais eficiente e à procura por técnicas mais avançadas e econômicas de operar o sistema (Saurí, 2013).

O consumo residencial de 770 casas de alta e baixa renda da Flórida foi avaliado por Lee et al. (2013). No estudo do consumo doméstico de água, 95% das moradias foram consideradas ineficientes. Posteriormente, foram testados apenas chuveiros eficientes (*SH*), sistema de descarga de bacias sanitárias eficientes (*HET*) ou máquinas de lavar roupa de alta eficiência (*HEW*), e os *retrofit* completos (*SLIFR*) compostos por todas as alternativas anteriores. O consumo residencial diminuiu em 26,5% com a adoção de múltiplas alternativas (Lee et al., 2011) e as economias monetárias estão na Figura 4.

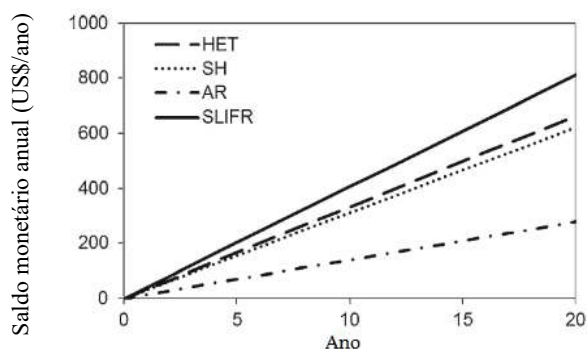


Figura 4-Economia monetária média da adoção de múltiplas alternativas de conservação de água  
Fonte: Lee et al. (2013)

O desempenho dos EEA foi estudado em 43 casas de Lisboa, tendo uma amostra de, aproximadamente, 100 pessoas. Esses índices foram resultado da conversão de variáveis físicas em funções de eficiência, as quais tiveram seu desempenho diminuído à medida que a demanda aumentava, como mostrado na Tabela 6. Os aparelhos que mais consumiram água e tiveram a menor performance foram as lavadoras de prato e de roupa e as bacias sanitárias. Enquanto isso, os chuveiros, as torneiras de WC e de cozinha obtiveram os melhores resultados (Vieira *et al.*, 2015).

Tabela 6- Desempenhos dos equipamentos residenciais

	Equipamentos diversos					Bacias sanitárias		
	Chuveiro	Torneira WC	Torneira cozinha	Lavadora pratos	MLR	descarga single flush	descarga dual flush	descarga dual flush e baixo volume
Residências com índices inaceitáveis (0-100)	12%	30%	7%	60%	70%	72%	23%	16%
Residências com índices aceitáveis (100-200)	42%	21%	23%	7%	12%	0%	0%	5%
Residências com excelentes índices (200-300)	44%	47%	67%	7%	16%	0%	0%	2%

Fonte: Adaptado de Vieira et al. (2015)

No intuito de analisar o peso no consumo das válvulas de descargas, Alexandre et al. (2017) pesquisaram a sua utilização na Universidade do Estado de Santa Catarina. Apesar de não ser um estudo residencial, esta pesquisa mostrou que a substituição das válvulas de descarga possuiu desempenho inferior a substituição por torneiras eficientes. Esta opção, contudo, necessitou de regulagem e ajustes nos dispositivos com o passar do tempo e uso, requerendo, portanto, manutenção.

Os benefícios do uso de economizadores de água também foram estudados por da Silva et al. (2017) em 23 casas no município de Caruaru<sup>5</sup>, Pernambuco. Os cenários estudados são exibidos na Tabela 7, tendo o cenário 2 obtido o melhor desempenho, com uma economia de 3,2m<sup>3</sup>/mês e tempo de retorno de 8,7 anos, o qual desprezou a tarifa de esgoto devido ao baixo índice de atendimento por coleta de esgoto. Apesar do número parecer baixo, a implantação dessa ação nesta localidade, que tem aproximadamente 96.000 residências, seria suficiente para atender 42.000 casas.

Tabela 7- Cenários com alternativas de conservação de água

Cenário	Bacia sanitária	Lavatório	Chuveiro	Torneira Cozinha
1	Caixa acoplada com botão <i>dualflush</i>	50% com torneira eletrônica e o restante com fechamento automático	Com fechamento automático	Com arejador
2	50% com caixa acoplada com botão <i>dualflush</i> e apenas com a caixa acoplada	50% com torneira fechamento automático e o restante com arejador	50% com fechamento automático e o restante com arejador	Com arejador
3	Com caixa acoplada	Com arejador	Com arejador	Com arejador

Fonte: da Silva et al. (2017)

O potencial de economia de água na Califórnia foi avaliado com uma amostra de 700 moradias. No setor residencial, onde o consumo era de 560 L/hab/dia, a implantação interna do uso eficiente da água promoveu uma diminuição de 45% na demanda, com consumo diário *per capita* de 122L/hab/dia. As maiores economias foram obtidas por meio do conserto de vazamentos e do uso das bacias sanitárias e máquinas de lavar roupa eficientes, totalizando 75% de redução. Já nas áreas externas, a economia variou entre 31% e 69%, de acordo com a mudanças no paisagismo (Howard, 2014).

### 2.2.2 O reúso de águas cinzas

O termo reúso de águas cinzas possui várias definições na bibliografia. Assim, adotou-se nesse trabalho as definições que se seguem:

- Reúso de água não potável indireto: é o método mais comum empregado na maioria dos países. Nesse caso a água é coletada, tratada e armazenada em reservatórios para uso posterior (Martinez, 2009);

<sup>5</sup> O estudo sofreu influência da seca histórica que atingiu a região entre 2014 e 2015.

- Águas negras: são as águas provenientes do esgoto do bidê e bacia sanitária; normalmente contaminado por Coliformes Fecais. Martinez (2009) inclui neste grupo as águas da pia da cozinha e da lavadora de pratos devido à alta carga orgânica;
- Águas cinzas: são aqueles provenientes da banheira, chuveiro, área de serviço e lavatórios, em geral, possuem baixo teor de poluentes, mas não dispensam tratamento (Martinez, 2009).

O reúso de água pode ser efetuado de forma segregada e não segregada. O primeiro consiste em separar a água negra da cinza, na fonte, utilizando tubulações distintas. Desta forma, a fração referente a água cinza poderá ser utilizada sem qualquer contaminação pelas águas negras. O reúso não segregado utiliza ambos os tipos de água, sem qualquer distinção ou separação por tubulações, o que não foi objeto deste estudo.

A organização mundial da saúde não tem recomendado o reúso de água potável, por questões de segurança. Com isso, torna-se o sistema de reúso não potável indireto o mais recomendado por envolver menores riscos. Este tipo de sistema de reúso de água tem sido impulsionado devido à alta demanda por água e baixa oferta da mesma em vários locais do planeta (Muffareg, 2003).

A resolução 54 do CONAMA define reúso de água para fins urbanos como sendo o uso do efluente para irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, no combate a incêndios e dentro da área urbana (BRASIL, 2005).

O reúso de água planejado para fins não potáveis inclui as finalidades menos nobres, sendo os três primeiros destacados por NAP (2015) como os mais significativos:

- Descargas de bacias sanitárias;
- Lavagem de pisos e similares;
- Espelhos de água e ornamentações;
- Irrigação de jardins;
- Reservas prediais de incêndio.

Entretanto, esses usos devem ser bem estabelecidos e controlados, a fim de não se gerarem riscos e de se atenderem condições mínimas. Conforme Leuck (2008), uma água de reúso deve obedecer às seguintes condições:

- Não deve apresentar mau-cheiro;
- Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- Não deve ser abrasiva;
- Não deve manchar superfícies;
- Não deve contaminar o lençol freático.
- Não deve deteriorar os metais e equipamentos;

Tomaz (2001) estima que o reúso de água predial pode gerar uma economia de até 70% e Neal (1996) incentiva o seu uso pois considera a tecnologia simples e de baixo custo. Além disso, o reúso de águas cinzas apresenta a vantagem de reduzir a quantidade de esgoto, o consumo de água potável das fontes naturais (Vigneswaran & Sundaravadivel, 2004) e o consumo de energia (Anderson, 2003).

Em 2017, o governo federal criou um programa que fornece subsídios e incentiva a implantação dos sistemas de reúso de água cinza (RAC) no semiárido. A meta proposta era aumentar o consumo de água cinza dos 2m<sup>3</sup>/s em 2017 para 13 m<sup>3</sup>/s em 2030 (valores ainda insignificantes perante o consumo nacional urbano de 496 m<sup>3</sup>/s). Essa mudança de paradigma custaria aos cofres públicos de R\$300 a 500 milhões por ano (ANA, 2018).

A performance do sistema de reúso de água cinza em casas foi pesquisado em Nagpur, na Índia, tendo sido avaliada uma população amostral de 800 pessoas. Foi considerado cada casa com cinco habitantes e o consumo de cada aparelho foi inferido. O volume proveniente da cozinha, devido à sua maior quantidade de matéria orgânica, foi desprezado. A demanda da água cinza adotada foi para o uso nas bacias sanitárias e na irrigação das hortas e jardins. A economia estimada foi de 48%, com um tempo de retorno de 1,6 ano (Mandal *et al.*, 2011).

Ainda na cidade de Nagpur, o sistema de reúso de água cinza foi analisado por meio da amostra de uma residência experimental do instituto NEERI (*National Environmental Engineering and Research Institute*). Por motivos culturais, a região apresenta maior consumo de água na lavagem de roupas, seguido pela cozinha e chuveiros, que estão empatados. O volume obtido do chuveiro, lavanderia e lavatórios foi de 80 L/hab/dia. O esgoto tratado foi utilizado nas bacias sanitárias (25 L/hab/dia) e o restante na irrigação das plantas. A extrapolação deste modelo a todo o centro de pesquisa (com 800 pessoas)

permitiria uma economia de 65.000 L/dia, equivalente a U\$6.230, com tempo de retorno de 1,6 ano (Mandal *et al.*, 2011).

Em condomínios verticais, a alternativa de viabilidade técnico-econômica que pudesse promover o uso eficiente de água foi pesquisada por Leal (2013), em edificações de Cuiabá. Para tanto o autor pesquisou as características de consumo e uso de um prédio local, visando a implantação do sistema de reúso de água cinza tendo como fonte a lavanderia e demanda a irrigação do jardim (6.033m<sup>2</sup>) e a limpeza das áreas comuns (6.750m<sup>2</sup>). O modelo utilizado foi um prédio de 25 andares com 300 unidades habitacionais e consumo de água de 4.430 m<sup>3</sup>/mês, equivalente à soma das medições dos hidrômetros individuais. O tempo de retorno do RAC foi de 1,5 ano.

### **2.2.3 O aproveitamento da água de chuva**

O aproveitamento do uso da água de chuva (AAC) é considerado uma das alternativas mais simples e de fácil aceitação. A Alemanha e Austrália tem a maior incidência desta alternativa instalada, enquanto na Índia e África do Sul, o governo tem incentivado seu uso em áreas rurais (Pacheco & Campos, 2017) . A qualidade desta água foi estudada, tendo seus parâmetros classificados como bons, apesar de não ser potável (Vialle *et al.*, 2011). Possui baixa condutividade, dureza, alcalinidade e presença de coliformes fecais (May, 2009a). Contudo, seu potencial médio de uso em escala mundial pode diminuir em até 14% devido à variação climática, principalmente nas épocas de seca (Haque *et al.*, 2016). No Brasil, a SABESP (2020) estima que esta oscilação seja atualmente de 30% em relação à média.

A diferença no resultado do dimensionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva com a utilização de séries curtas ao invés do uso de séries longas (58 a 64 anos) foi verificada por Ghisi et al. (2012), num estudo de caso em Santa Bárbara do Oeste/SP. Por meio de simulações computacionais com o programa Netuno (GHISI & CORDOVA, 2014) foi descoberto que as séries com variação de 1 a 13 anos apresentaram resultados similares às longas séries (que são mais difíceis de serem obtidas) e que o volume do reservatório dimensionado era praticamente o mesmo.

O potencial de economia por meio do aproveitamento da água de chuva foi comparado entre 62 cidades de Santa Catarina. Na amostra, 91,1% dos imóveis residenciais eram

casas e, o restante, edifícios. Diante dos dados pesquisados foi possível obter o gráfico da Figura 5 com parâmetros que poderiam ser extrapolados para outras regiões do Brasil, servindo de anteprojeto para a tomada de decisões (Ghisi *et al.*, 2006). Exceção ao Nordeste, todas as regiões do Brasil têm uma média pluviométrica variando de 1500 a 2000 mm/ano, ratificando a densidade de pontos na curva de potencial de uso de 60 a 80%.

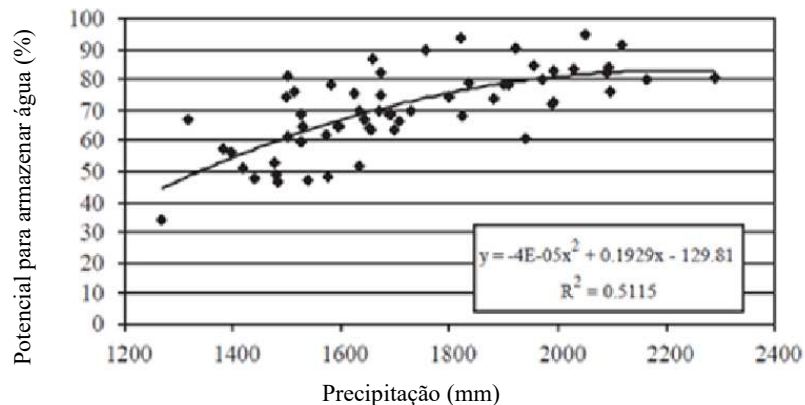


Figura 5- Potencial de economia de água em função da precipitação  
Fonte: Ghisi et al. (2006)

A economia de água proveniente do aproveitamento da água de chuva em edifícios multifamiliares da Austrália foi observada por Eroksuz & Rahman (2010). Diante da análise estatística das amostras, os autores propuseram a Equação 1, que reúne todos os parâmetros e facilita a simulação local. A equação foi calculada para um consumo de 162 L/hab/dia e teve um fator de ajuste ( $R^2$ ) de 96%, ratificando o baixo nível de erros. A metodologia aplicada poderia ser estendida para outros países, fornecendo ferramentas simples de tomada de decisões preliminares.

$$\log(W) = -6,309 + 0,779 \log(A) + 0,318 \log(T) + 2,078 \log(R)$$

Onde:

$W$  é a economia de água em  $m^3$

$A$  é a área do telhado em  $m^2$

$T$  é o volume do tanque em  $m^3$

$R$  é a precipitação em mm

Equação 1

Em Barcelona, o desempenho do sistema centralizado de aproveitamento de água da chuva em moradias unifamiliares e multifamiliares foi estudado por Domènech & Saurí (2011). Para aferir a demanda dos usuários, os autores fizeram questionários com os moradores. O tanque de uso comum foi determinado pela soma dos volumes dos possíveis tanques individuais, com período de armazenamento máximo de 3 dias. A demanda foi composta pelo uso das bacias sanitárias, irrigação e água fria da lava-roupas. As moradias foram divididas em grandes grupos de implantação, tendo como resposta a Figura 6. A melhor faixa de uso mostrou-se no intervalo de 192 e 288 moradias, principalmente em relação ao crescimento do custo dos tubos para implantação de uma rede maior.

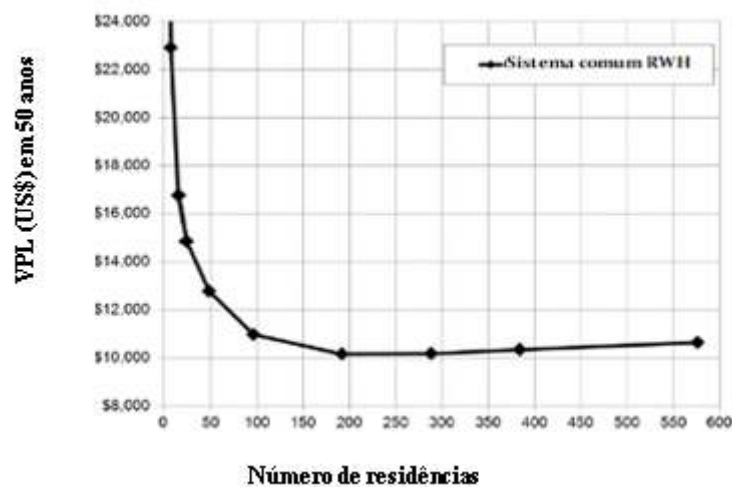


Figura 6- custo de implantação do AAC num horizonte de 50 anos  
 Fonte: Domènech & Saurí (2011)

As zonas climáticas da Europa foram comparadas por meio do potencial do aproveitamento da água de chuva. No modelo criado, os pesquisadores concluíram que a correlação entre intensidade e duração da chuva é fraca, sendo o dado de maior relevância a duração histórica da seca. A zona temperada fria e úmida da classificação de Koppen obteve a melhor performance para o aproveitamento da água de chuva (Palla *et al.*, 2012).

A viabilidade econômica do aproveitamento da água de chuva em cinco prédios residenciais de diferentes cidades de Santa Catarina foi analisada. O número médio de moradores variou de três a cinco, sendo destacado que os domicílios com menor população não possuem viabilidade econômica devido à tarifa mínima. Buscou-se dimensionar o reservatório de modo a evitar o super ou subdimensionamento. Para tanto, limitou-se o volume máximo dos reservatórios em 20 m<sup>3</sup> e calculou-se a influência do



volume para uma variação de 6 meses no *payback*. Nos casos de alto consumo, o vulto da economia de água e o valor do retorno econômico têm valores altos, ficando o sistema otimizado com o aumento da área de captação. O *payback* variou de 1,5 a 10 anos. O comportamento dos gráficos foi semelhante para todas as cidades, indicando uma possível possibilidade de extrapolação (Ghisi & Schondermark, 2013).

A viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações multifamiliares residenciais de Brasília foi avaliada por Boeger & Sant’Ana (2013). O sistema dimensionado para atender à demanda da descarga sanitária e da lavagem de roupas mostrou-se inviável financeiramente. Tal fato ocorreu devido a demanda de descarga sanitária e lavagem de roupas ser superior a oferta da captação da água de chuva. Porém, os sistemas para lavagem de pisos e irrigação tiveram excelente desempenho.

O aproveitamento da água de chuva como alternativa à escassez hídrica, diminuindo o consumo de água potável, foi avaliado por Haque et al. (2016). Países como Alemanha, França, Japão, Singapura e Estados Unidos já utilizam tal fonte para as bacias sanitárias, lavanderia e irrigação de jardins. A maioria dos estudos dimensiona o reservatório com dados históricos e não levam em conta a incerteza futura. Num estudo de caso em cinco regiões da Austrália, os autores utilizaram a projeção da chuva até 2039, com indicações de que os meses de dezembro e janeiro seriam mais úmidos e chuvosos (até 41% maior), enquanto os demais meses teriam precipitações inferiores às históricas, com redução de até 81%, equivalente a uma redução anual de 34%. Assim, notou-se a diminuição da confiança do sistema e o aumento do tempo em que os tanques permanecem vazios, chegando a estar 88% do tempo nesta situação.

Tabela 8- relação entre volume do tanque e confiabilidade no AAC

	3m <sup>3</sup>		5m <sup>3</sup>		7m <sup>3</sup>		10m <sup>3</sup>		Média	
	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V
Uso interno	7,05	6,5	6,7	6,49	4,7	4,6	1,96	1,92	5,1	4,8
Irrigação	22,4	4,4	21,5	5,0	21,3	5,5	22,7	6,5	21,9	5,35
Uso combinado	23,5	4,4	22,6	4,9	22,3	5,4	13,1	6,1	20,3	5,2

Fonte: Haque et al. (2016)

Onde:

C=redução da confiabilidade (%)

V=aumento do tempo que permanecerá vazio (%)

Um método de otimização para o cálculo do sistema de aproveitamento de água de chuva de uso coletivo foi desenvolvido por Bocanegra-Martínez et al. (2014). O objetivo desta otimização era a minimização dos custos anuais e do consumo de água potável. O estudo de caso foi num conjunto habitacional em Morélia (no México). A região foi dividida em nove setores, dos quais apenas cinco eram residências, ficando o restante com áreas de irrigação. Cada região teve o volume do reservatório determinado, perfazendo um total de onze, além de um reservatório central elevado. Foram criados quatro cenários, conforme

Figura 7, onde: o primeiro teve como foco o custo mínimo; o segundo, o menor consumo de água potável; o terceiro, a compensação entre o consumo de água potável e o os custos totais anuais; e o último buscou a solução utilizando o limite de água potável disponível. Todas as soluções no interior do polígono compõem o grupo da solução ótima.

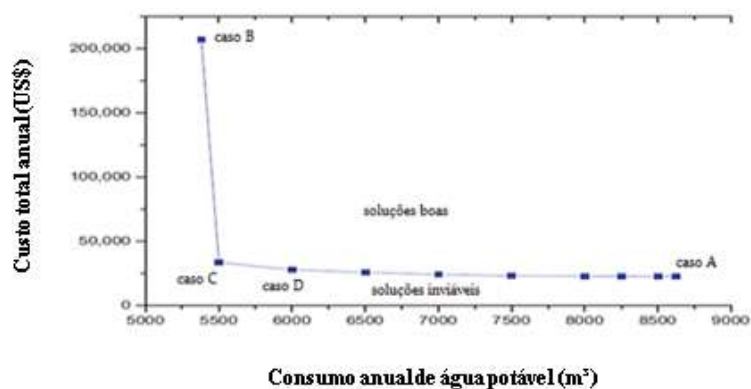


Figura 7- Comparação de cenários de AAC  
 Fonte: Bocanegra-Martínez et al. (2014)

A otimização de reservatórios de armazenamento de água de chuva foi estudada em duas regiões de Melbourne com climas diferentes. A primeira com média anual de precipitação de 654 mm e na seca, de 465 mm; a segunda com média anual de 835 mm e na seca, de 588 mm. Entre as comparações simuladas, foi possível notar que em telhados pequenos, a confiabilidade é baixa, mesmo com tanques enormes. Para altas demandas e tanques pequenos, a confiabilidade é baixa (32%); enquanto telhados de 200 m² com tanques de 10m³ podem atingir confiabilidade próxima a 100%, com a exceção ao período de seca. De forma similar, Rashidi Mehrabadi et al. (2013) aplicaram a técnica e estudaram as cidades de Tabriz (clima mediterrâneo com 288mm /ano), Rasht (clima úmido com

1355mm/ano) e Kerman (clima árido com 150 mm/ano), todas do Irã. Nas cidades de clima árido não houve vantagens significativas no aumento do volume do reservatório. Já nas regiões com alta pluviosidade o volume do tanque tem grande influência na operação (Imteaz *et al.*, 2012).

Um sistema descentralizado de armazenamento de água de chuva coletado por várias casas foi proposto por Gurung & Sharma (2014), utilizando a uma área plana hipotética da Austrália. A quantidade de residências na região variou de 5 a 576, com densidade em 20 habitantes por hectare e uma taxa de 2,6 pessoas por família. Os custos de implantação foram significativos em todo o processo. Áreas com 192 a 288 famílias mostraram o melhor desempenho, enquanto para números menores que 96 famílias houve um prejuízo. Considerando o uso de outra área, com inclinação de 0,5%, o custo aumentaria em 13% devido ao sistema de bombeamento e sua tubulação.

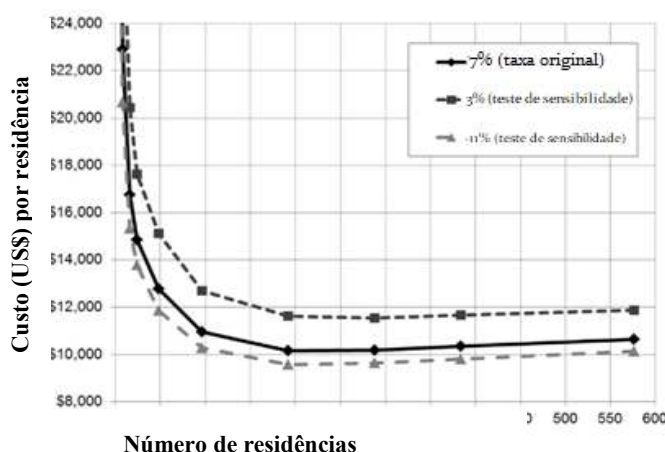


Figura 8- Custo de implantação do AAC  
Fonte: Gurung & Sharma (2014)

Um estudo de viabilidade financeira do sistema de aproveitamento da água de chuva foi conduzido por Morales-Pinzón *et al.* (2012) por meio de uma amostra com: duas casas; oito casas; um grupo de casas; um prédio de apartamentos; e um grupo de prédios. Utilizando o método do ciclo de vida, os autores compararam a economia do sistema entre as amostras, produzindo a Figura 9. Diante dos resultados apresentados, foi concluído que a melhor escala para implantação do sistema é em grandes áreas ou regiões altamente povoadas.

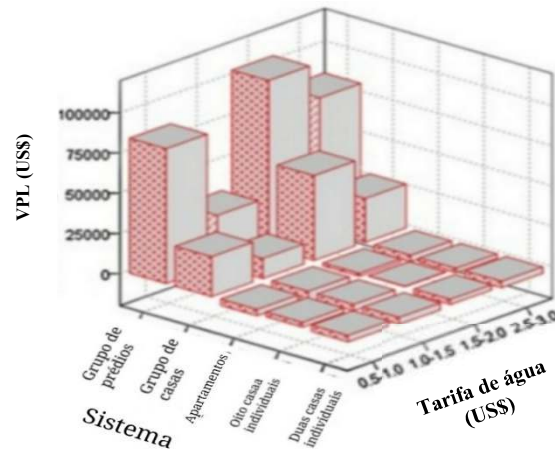


Figura 9- Comparação entre preço da água e VPL em cada amostra  
 Fonte: (Morales-Pinzón *et al.*, 2012)

Farreny et al. (2011) citam que são raros os estudos em grande escala, sendo os anteriores de casas unifamiliares e baixa densidade. Assim, pesquisaram uma vizinhança com 43 edifícios multifamiliares em Granollers, (na Espanha), uma região com problemas de escassez de água. Após simulações de cenários com a aplicação do sistema em edifícios isoladamente e em nível vizinhança, o estudo constatou que o aproveitamento da água das chuvas tem viabilidade econômica desde que considere a evolução das tarifas e o fator escala. Ainda assim, ressalta que em vários casos não houve *payback*.

Numa escala municipal, o aproveitamento da água de chuva foi estudado por Belmeziti et al. (2013), utilizando uma amostra do município de Colombes, em Paris, com 45% de residências unifamiliares e 34% multifamiliares. No intuito de facilitar a extrapolação de uma edificação para uma escala maior, os autores propuseram uma equivalência de edificações. Ela consistiu numa variável virtual que serve para calcular o potencial de aproveitamento da água da chuva de um grupo de edifícios como se fosse um único, evitando o cálculo individual. Considerando a demanda desta água às bacias sanitárias, lavagem de piso e irrigação, foi possível uma economia de 35% do consumo habitual de água.

Nos EUA, um estudo em 231 localidades (grande escala) dimensionou um reservatório de AAC por meio de regressão linear. A equação teve como dados de entrada a área, a média da precipitação diária e valores estatísticos da chuva histórica, sendo dividido em três grupos (leste, oeste e oeste central). O modelo, com  $R^2$  de 0,97 serviu para auxiliar

os estudos no planejamento hídrico e urbano, facilitando o acesso a dados de custo-benefício (Hanson & Vogel, 2014)

A diferença entre o potencial do aproveitamento da água de chuva e a disponibilidade da mesma foi comparada por Liaw & Chiang (2014). A primeira estava relacionada à capacidade máxima teórica e a segunda à capacidade factível em função dos reservatórios, da demanda e do coeficiente de *run-off*. O conceito de potencial ambiental suportável foi considerado em grande escala, sendo o resultado da combinação do potencial disponível com o percentual de telhados efetivamente utilizados para cada microrregião. Validando a assertiva, os autores fizeram experimentos em Taiwan. Para tanto utilizaram o *GIS* para calcular as áreas de telhados e a média dos *run-off* dos telhados. O potencial teórico foi de  $1.763,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  e o disponível de  $1.168,73 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . O custo de produção estimado foi de U\$12 a U\$18, inferior ao valor do reúso de água cinza (U\$20 a U\$30) e da dessalinização (U\$31,21 a U\$40,13).

O aproveitamento da água de chuva foi simulado na cidade de Lipari, utilizando uma escala urbana municipal. Apenas imóveis residenciais foram avaliados, perfazendo um total de 984 edificações. A demanda considerada foi a utilização da água nas bacias sanitárias, o que gerou uma economia de água potável entre 30% e 50%. O cálculo do volume dos tanques resultou numa faixa de 2 a 5  $\text{m}^3$ , para diversos prazos simulados. Numa taxa de juros de 6% a.a., a Figura 10 mostra a comparação do desenvolvimento econômico do aproveitamento da água de chuva na cidade e o sistema atual de dessalinização (Campisano *et al.*, 2017).

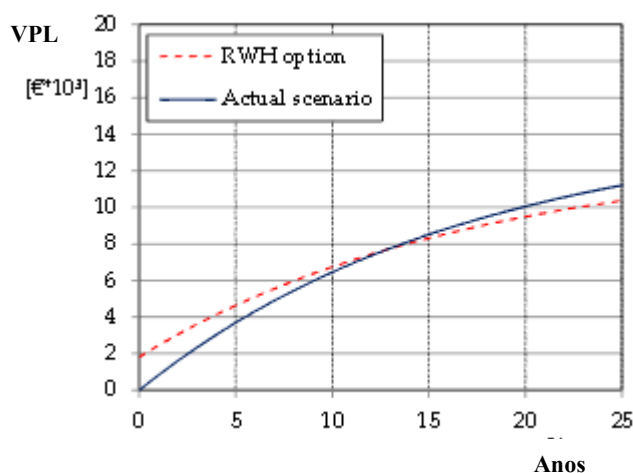


Figura 10- VPL ao longo dos anos da implantação do AAC  
Fonte: Campisano et al. (2017)

## 2.2.4 Os sistemas múltiplos

O uso isolado ou combinado de equipamentos economizadores de água (EEA), reúso de água cinza (RAC) e aproveitamento de água da chuva (AAC) tem significativo potencial de economia de água. Porém, em vários casos não possui rentabilidade. Diante disso, Ghisi & Ferreira (2007) estudaram a aplicação do reúso da água cinza e do aproveitamento da água de chuva em apartamentos em Florianópolis. Os dados de consumo foram obtidos por meio de faturas de água e de entrevistas com os moradores. Foram selecionados reservatórios de 3.000L para a demanda diária a ser suprida pela água da chuva, de 2.000L para o reúso de água cinza e de 5.000L para o uso combinado. A análise econômica local demonstrou que o reúso de água cinza é mais eficaz.

Tabela 9- Análise econômica do RAC e AAC

Sistema	Payback (anos)	Implantação <sup>6</sup> (R\$)	Economia (%)
Reúso de água cinza	3,5	12.365,74	31
Água da chuva	3,6	12.345,16	16
Ambos	5,7	19.736,26	38

Fonte: Adaptado de Ghisi & Ferreira (2007)

O desempenho da implantação do sistema de uso de água de chuva e de reúso de águas cinzas em duas casas de Santa Catarina foi avaliado por Ghisi & Mengotti de Oliveira (2007). O consumo real foi obtido por meio das faturas de água anteriores e a frequência de uso por meio de questionários aplicados aos moradores. A água da chuva foi utilizada para complementar a demanda de água cinza e para uso pela máquina de lavar roupa. O sistema de reúso de águas cinzas foi calculado tendo como oferta os chuveiros, lavatórios e máquina de lavar roupa; e como demanda a descarga da bacia sanitária. A capacidade do reservatório de água da chuva foi calculada a partir de variações incrementais, com limite entre 0 e 15.000 litros, concluindo que são necessários dois reservatórios, um inferior de 500 litros e um superior de 250 litros. O volume do reservatório de água cinza foi definido em virtude da demanda de água cinza necessária, tendo uma unidade superior e inferior de 250 litros, cada. O desempenho das alternativas está na Tabela 10, mostrando que não há atratividade econômica, principalmente devido à tarifa mínima imposta pela concessionária.

<sup>6</sup> Valores corrigidos para o mês de fevereiro de 2021 pelo IGPM

Tabela 10- desempenho das alternativas de conservação de água quando instaladas em casas

Sistema	Payback (anos)	Implantação (R\$) <sup>7</sup>	Economia (%)
Reúso de água cinza	17	5.371,89	27,5
Água da chuva	21	7.633,73	34,6
Ambos	28	10.743,77	35,0

Fonte: Ghisi & Mengotti de Oliveira (2007)

Os edifícios de alta renda da Austrália foram estudados por Zhang et al. (2009), que notaram que 12% do consumo doméstico era utilizado nas bacias sanitárias, que não carece de alto padrão de qualidade de água. A instalação de dispositivos economizadores resultou em uma redução no consumo de 29,9% a 32,3%, enquanto o aproveitamento de água da chuva atingiu 75,7%. Nas amostras realizadas em Sidney, Melbourne e Darwin, ficou demonstrado que chuvas com maior constância necessitam de reservatórios menores e que tanques maiores apresentam alto custo, tendendo a inviabilizar o *payback*. Além disto, a diminuição da demanda pelos economizadores provoca uma significativa economia no dimensionamento do AAC, em particular dos tanques.

A redução de energia elétrica relacionada à conservação de água aplicada à cidade de Florianópolis foi estudada por Proença et al. (2011). A amostra considerou 3 edifícios multifamiliares, 2 casas, 10 prédios comerciais e 10 escritórios. Foram utilizados a descarga sanitária tipo dual *flush*, o reúso de água cinza oriunda da torneira do WC e chuveiro para abastecer as descargas supracitadas e o complemento da demanda não potável pela água proveniente do aproveitamento da água de chuva, utilizado apenas no setor público e comércio. No cenário residencial houve uma redução de 37% no consumo de energia (equivalente a 1.217 casas) e uma redução de 14,8% na emissão de esgoto (9.155 casas).

Partindo de uma amostra de 481 edificações do DF, Sant’Ana (2012) as agrupou segundo suas rendas domiciliares. A aplicação dos métodos econométricos obteve o desempenho exibido na Tabela 11. Nota-se que a combinação das alternativas é inviável do ponto de visto econômico em várias faixas de renda.

<sup>7</sup> Valores corrigidos para o mês de fevereiro de 2021 pelo IGPM

Tabela 11- Redução do consumo de água potável por faixa de renda domiciliar no DF

	Renda Baixa	Renda Médio-baixo	Renda Médio-alta	Renda Alta
AAC + EEA	50,6%	54,1%	49,6%	70,4%
RAC + EEA	-	-	49,1%	64,7%

Fonte: Sant'Ana (2012)

Utilizando cidades da Grécia, foi feita uma célula amostral numa microrregião e, ao final do estudo, ela foi extrapolada para uma macrorregião. Foram comparadas 7 cidades, cada uma com suas peculiaridades. As alternativas de reúso de água cinza e do aproveitamento da água da chuva foram testadas simultaneamente, tendo uma média de redução de consumo de água potável de até 35% (Rozos *et al.*, 2011).

Sant'Ana *et al.* (2013) analisaram as superquadras de Brasília com enfoque na implantação do sistema de água de chuva e de reúso de água cinza com três cenários cada. O sistema que logrou o melhor potencial de redução foi o reúso de água cinza para atender a demanda da lavagem de roupas (22%). Contudo, após uma análise técnica, o sistema para atender a lavagem de roupa foi descartado em edificações existentes devido à complexidade de sua instalação. Pela análise econométrica, o custo incremental médio da utilização do aproveitamento da água da chuva para a demanda da lavagem de pisos e irrigação foi de R\$0,34/m<sup>3</sup> e o reúso de água cinza não foi viável. Entretanto, atendendo à demanda das bacias sanitárias (15,7%), o sistema de aproveitamento de água da chuva teve um custo incremental médio de R\$3,78/m<sup>3</sup> e o reúso de água cinza teve de R\$3,48/m<sup>3</sup>, praticamente equivalentes, mas diferenciando-se pelo alto investimento inicial do RAC.

Utilizando o PROMETHEE V, Batista *et al.* (2015) analisaram as ações de conservação de água em Recife. As alternativas utilizadas foram o reúso de água cinza, campanhas educacionais, economizadores, aproveitamento de água de chuva, melhoria no saneamento, setorização da rede, controle de fraudes e controle de vazamentos. Foram adotados critérios econométricos, tempo de resposta, nível de rejeição pela população, eficiência e redução volumétrica do consumo. As duas primeiras alternativas foram as campanhas educacionais e a implantação dos dispositivos economizadores de água.

Um estudo de caso num conjunto habitacional de 894 casas, no México, foi feito por García-Montoya *et al.* (2016). Cinco cenários foram testados e estão descritos na Tabela 12. O primeiro buscou a solução mais econômica, enquanto o último buscou a solução com menor consumo de água potável. Todos os cenários utilizaram o reúso de água cinza



e o aproveitamento da água de chuva, tendo apenas a forma de tratamento alternada. Os critérios utilizados para comparar os cenários foram a economia de água potável, a análise do ciclo de vida, o consumo de energia e emissão de CO<sup>2</sup>. Numa análise do gráfico de Pareto para os dados em questão, conforme Figura 11, tem-se os pontos limítrofe e a observância de que a economia do consumo de água potável colabora com o clima.

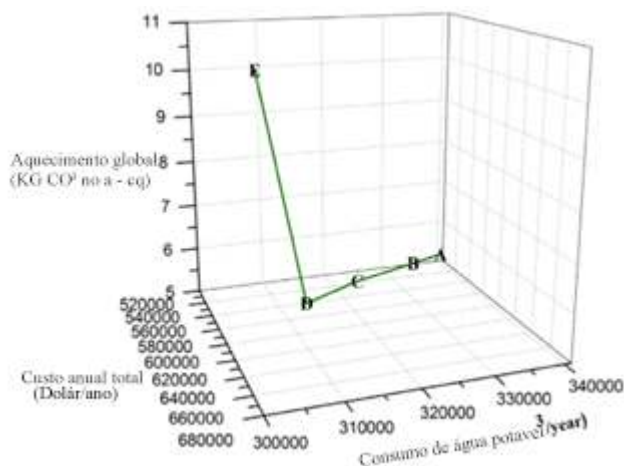


Figura 11- curva de Pareto para o consumo de água, custo anual e emissão de CO<sub>2</sub>  
 Fonte: García-Montoya et al. (2016)

Tabela 12- Comparação dos cenários de conservação de água adotados

	A	B	C	D	E
Consumo de água potável (m <sup>3</sup> /ano)	338.533	332.000	320.000	310.000	300.838
Aproveitamento da chuva (m <sup>3</sup> /ano)	36.260	36.260	36.260	36.260	36.260
Reúso de água cinza (m <sup>3</sup> /ano)	163.583	170.116	182.116	192.116	201.278
Investimento total (US\$/ano)	12.725	13.769	15.483	16.477	17.368
Custo anual(US\$/ano)	537.190	553.888	584.648	616.730	667.060

Fonte: García-Montoya et al. (2016)

Vieira & Ghisi (2016) estudaram a correlação entre energia e água, reforçando a ideia de que um planejamento estratégico deve ser multidisciplinar. Ratificando o foco do presente estudo sobre o volume de esgoto gerado, destacaram que minimização do volume de esgoto coletado, diminui o consumo de energia. A Tabela 13 mostra os resultados das estratégias utilizadas, destacando o uso dos EEA e AAC.

Tabela 13- Economia de água e energia das estratégias adotadas

Sistema	Economia de água (%)	Economia de energia (kwh/m <sup>3</sup> )
Uso da água de chuva	43,2	0,86
Economizador + uso da água de chuva	34,8	0,74
Economizadores	15,2	0,72
Uso da água de chuva + Reúso da água cinza	25,3	0,57
Reúso de água cinza	23,8	0,56
Economizadores +Uso da água de chuva + Reúso da água cinza	53,0	0,44
Economizador + Reúso da água cinza	12,2	0,41

Fonte: Vieira & Ghisi (2016)

Na Colômbia, Domínguez et al. (2017) estudaram a aplicação do aproveitamento da água da chuva e do reúso de águas cinzas em 65 casas de baixo consumo. Cada unidade habitacional tinha o consumo de água de 650 L/dia. A alternativa de coleta de água cinza dos chuveiros e pias, água da chuva aplicada na irrigação e lavanderia tinha um custo de instalação de US\$1317. A economia anual foi de US\$31,6 (59,8 m<sup>3</sup>/ano) por casa, em comparação com o gasto anual de US\$247,20. Diante desses dados e de um tempo de retorno de 29,8 anos, considerou-se que a implantação do sistema não seria factível.

Uma revisão bibliográfica sobre o uso híbrido do reúso de água cinza e do aproveitamento de água da chuva foi realizada por Leong et al. (2017). O sistema de água da chuva funciona tradicionalmente sem complexidade, enquanto o sistema de reúso de águas cinzas é composto por filtros e tratamentos. Três propostas foram apresentadas: na primeira cada água é tratada isoladamente; na segunda a água da chuva é utilizada na máquina de lavar roupa, sendo posteriormente coletada para uso como água cinza para descarga e irrigação; na terceira, a água da chuva e a água cinza são conduzidas, sem tratamento, a um tanque e depois são tratadas e diluídas.

O Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal, foi estudado por meio de uma amostra de 21 casas. Marinoski et al. (2017) avaliaram o benefício do reúso de água cinza, do aproveitamento de água da chuva, dos economizadores de água e suas combinações. Além da diminuição no consumo de água, os autores avaliaram a redução no volume de esgoto, todos pelo método da energia agregada, durante o ciclo de vida. A Tabela 14 ilustra as reduções de consumo de água e produção de esgoto classificadas pelo consumo de energia, apresentando os economizadores como destaque.

Tabela 14- redução no consumo de água e na produção de esgoto

Cenário	Redução de esgoto	Redução de água	Consumo de energia (MJ/ciclo de vida)
EEA	28,9%	28,9%	-2746
AAC e EEA	28,9%	42,9%	8896
RAC e EEA	36,8%	36,8%	8961
RAC	21%	21%	10172
AAC	0%	30,7%	10787
EEA, RAC e AAC	36,8%	42,9%	21008
RAC e AAC	21%	32,5%	21943

Fonte: Marinowski et al. (2017)

A redução do consumo de água potável e a diminuição da geração do esgoto em Joinville foram pesquisadas por Cureau & Ghisi (2019). Os setores residencial, comercial e público foram analisados considerando quatro estratégias: substituição de bacias sanitárias por *dual flush*, reúso de água cinza, aproveitamento da água de chuva e todas as opções anteriores simultaneamente. Cada setor teve seu respectivo índice de conservação de água aplicado. Os casos nos quais o uso da água originada do RAC e do AAC não superou o consumo foram desprezados. Isso produziu 91 cenários de uso final de água. A conclusão deste estudo foi que, em Joinville, o potencial de economia produzidos pelos métodos de conservação seriam de até 50,5% na água e até 52,1% no volume de esgoto. O método que mais se destacou foi a combinação do RAC, AAC e a substituição da descarga da bacia sanitária (EEA).

### 2.2.5 A qualidade da água

O esgoto residencial é caracterizado por 99,87% de água; 0,04% de sólidos sedimentáveis; 0,02% de sólidos não sedimentáveis; e 0,07% de substâncias dissolvidas (Braun *et al.*, 2019). A escolha de alternativas de conservação de água e o seu reúso dependem, entre outros fatores, da qualidade e do custo de tratamento. Leuck (2008) destaca que é necessária a análise do esgoto tratado para que as pessoas e o meio ambiente não sejam submetidos a riscos, em particular, zelando para que não apresentem mau-cheiro, não agridam as plantas, não sejam abrasivos, não contaminem o lençol freático, nem deteriorem os metais. Na mesma linha de pensamento, (Vianna & Souza, 2019) pesquisaram a quantidade de poluentes na água de reúso que poderiam causar males ao ser humano.

Em termos de água cinza, a variação da DBO está relacionada ao comportamento do usuário e a cultura local. Fiori & Fernandes & Pizzo (2009) analisaram o esgoto segregado oriundo do lavatório e do chuveiro, de nove apartamentos de Passo Fundo/RS. O primeiro, com a existência de crianças na família, apresentou DBO de 324 mg/L; o segundo, com o acréscimo de um animal doméstico, 299 mg/L e o último, com adultos apenas, 283 mg/L. No cenário internacional, May (2009a) fez um resumo dos principais estudos dos biológicos oriundos das águas cinzas do banheiro, tendo a DBO de 170 mg/L nos EUA, 250 mg/L na Inglaterra e 200 mg/L na Austrália. Assim, diante dos resultados, ratifica-se a necessidade de utilização de amostras similares ao estudo a ser realizado.

Considerando os diversos estudos nacionais sobre a DBO no reúso de água cinza, foi construída a Tabela 15, com dados de análise do esgoto oriundo do chuveiro e do lavatório, notando-se a estabilidade do valor, estando com a média em 285 mg/L.

*Tabela 15- Valores brasileiros de DBO para mistura entre o esgoto do chuveiro e do lavatório*

<b>Referência</b>	<b>DBO (mg/L)</b>
Borges (2003)	287
Santos <i>et al.</i> (2003)	286
Bazzarella (2005)	283

A qualidade da água a ser oferecida pelo reúso de água cinza dependerá do processo de tratamento e das condições locais. A Tabela 16 mostra os rendimentos, em termos de DBO, dos diversos tipos de tratamentos estudado para RAC. O valor médio de 84,03% diferendo da mediana (90%) em apenas 7%, mostrando sua robustez.

*Tabela 16- Rendimento dos sistemas de tratamento empregados em RAC*

<b>Local</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Cuiabá/MT	78,74
São Paulo/SP	93,4
Vitória/ES	90
Espanha	80
Eslovênia	95
Inglaterra	83
Taiwan	61
Japão	65,19
China	94,9
Jordânia	68,75
Alemanha	92,01
Austrália	93,81
EUA	96,6
<b>MÉDIA</b>	<b>84,03</b>

Fonte: Adaptado de Bazzarella & Gonçalves (2006), May (2009b), Leal (2013) e Pidou et al. (2007)

Assim, diante do rendimento do tratamento e da DBO de entrada, determinou-se uma DBO média final da água de reúso no valor de 45 mg/L.

Já a DBO oriunda do reaproveitamento da água de chuva é oriunda da contaminação da chuva, que atua capturando particulados, dispersando os poluentes, promovendo a limpeza da atmosfera e carregando consigo as substâncias já sedimentadas nos telhados.

Considerando os telhados de telha cerâmica, ondulada, terraços, amianto, entre outros, a DBO tem um valor médio de 7 mg/L (Costa & Borges, 2008). Jacinto (2010) estudou estas variações da qualidade da água de chuva, e obteve DBO de 6,4 mg/L. Assim, considerou-se o valor médio de DBO de 6,7 mg/L. Diante do baixo valor, o autor considerou que não era o caso a utilização de nenhum filtro primário, pois a eficácia seria mínima.

### **2.2.6 Uma análise socioeconômica**

Os estudos de implantação de alternativas de conservação de água dependem da adesão da população aos dispositivos propostos e suas taxas de retorno. Assim, buscou-se analisar a aceitação e a disposição do usuário de investir na nova tecnologia, comumente chamados em inglês de *willingness to accept* (WTA) e *willingness to pay* (WTP), respectivamente.

A aceitabilidade refere-se à condição emocional e moral de querer ter aquele bem, sem envolver sua precificação como critério de escolha. A disposição em investir consiste numa precificação da vontade racional em ter um bem e sua utilidade. Seus valores são diretamente influenciados pela relação preço e demanda (Seetaram *et al.*, 2018). O primeiro é mais próximo do contexto social, emocional e psicológico; o segundo, da renda e da experiência anterior em negociar/pagar. Contudo, o governo consegue exercer influência parcial e limitada sobre alguns desses dados ao incentivar o uso, seja por meio de descontos, incentivos fiscais ou sorteios de prêmios. Tal conduta foi adotada na Austrália, concedendo descontos para aqueles que implantassem o sistema de aproveitamento de água de chuva (Khastagir & Jayasuriya, 2010).

A WTP está relacionada à curva da demanda e da elasticidade. Porém, o aumento modesto de preços não causa uma redução drástica da demanda. Fatores sociais, demográficos, psicológicos e experiências prévias com aquele produto afetam seu valor (Seetaram *et al.*, 2018).

Em geral, o WTA é maior que o WTP (Hatton MacDonald *et al.*, 2010). Os dois valores, contudo, serão aproximadamente iguais quando o valor do bem tiver pouco efeito na renda e houver outro produto similar disponível (Kingsley & Brown, 2013).

Nesse contexto, Sant’Ana (2011) entrevistou 481 famílias de diferentes faixas de renda no Distrito Federal em busca de uma maior compreensão sobre o desejo/aceitação de se implantar alternativas de conservação de água. A Figura 12 exibe a aceitação dos equipamentos economizadores de água (EEA).

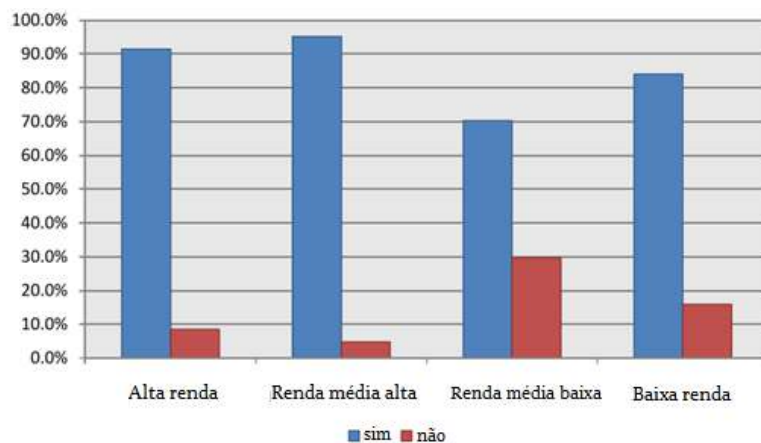


Figura 12- Taxa de aceitação dos EEA  
Fonte: Sant’Ana (2011)

A taxa de aceitação do uso de água de chuva (AAC) está exibida na Figura 13.

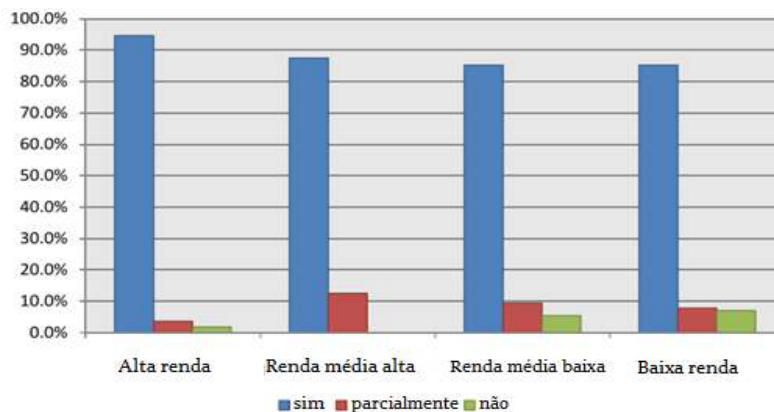


Figura 13- Taxa de aceitação do AAC  
Fonte: Sant’Ana (2011)

A taxa de aceitação do reúso da água cinza (RAC) está exibida na Figura 14.

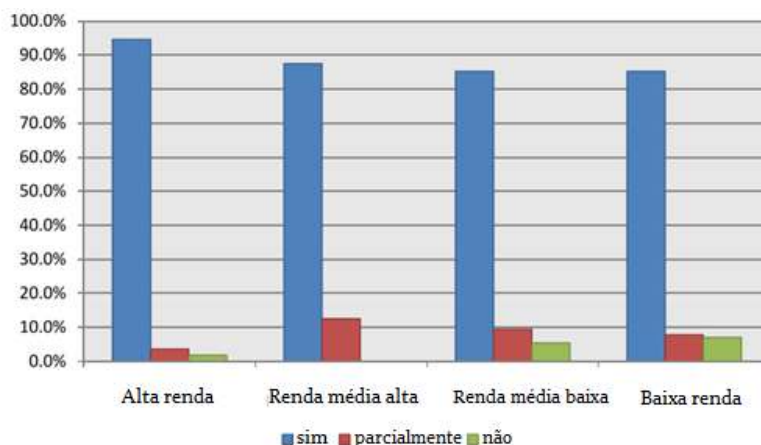


Figura 14- Taxa de aceitação do RAC  
Fonte: Sant'Ana (2011)

Diante desses gráficos e da definição da taxa de aceitabilidade mínima, nota-se que o ponto máximo da taxa de adesão serão os valores efetivamente empregados. Isso ocorre devido à separação do valor do investimento (que não é considerado neste quesito) das suas culturas, emoções e desejos e poderia ser interpretado como: “se alguém me doar a medida de conservação de água instalada e pronta para uso, sem me causar problemas, estou disposto a aceitar”. Um caso concreto como exemplo: não estou disposto a pagar por uma mansão porque não terá utilidade; uma vez que já tenho residência, mas aceito se quiserem me doar a mansão para que eu a venda e aumente meu capital. Mudando o enfoque para conservação de água: não estou disposto a investir em um sistema de reúso de água cinza, mas aceito que o governo o instale em minha residência, ficando a manutenção a meu encargo.

Em relação aos gastos, a Figura 15 mostra o gasto mensal aceitável e a Figura 16, a duração do referido gasto.

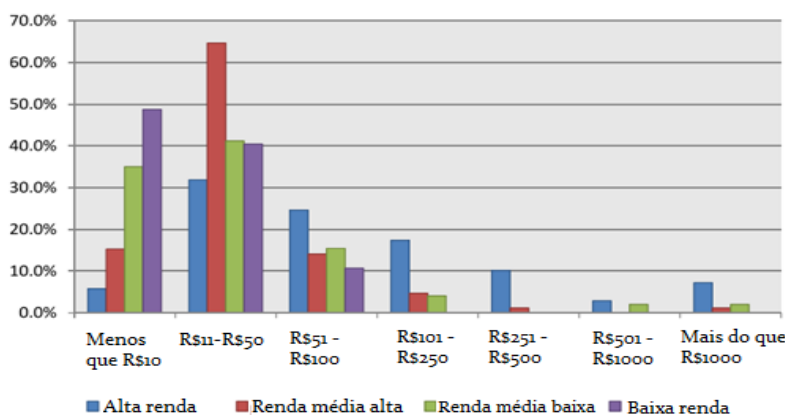


Figura 15- Gasto mensal aceitável  
Fonte: Sant'Ana (2011)

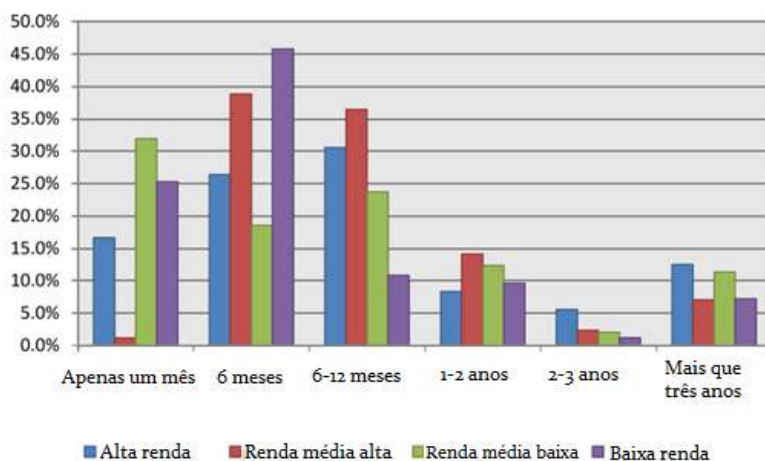


Figura 16- Duração do gasto aceitável

Fonte: Sant'Ana (2011)

Desses dois gráficos é possível produzir a Tabela 17, com o gasto máximo desejado de cada faixa de renda, considerando maior aceitação do tempo de investimento com a média ponderada das despesas.

Tabela 17- Investimento máximo aceitável

Classe	Valor mensal (R\$)	Valor final (R\$)
Alta	999,596	11.993,904
Média-alta	263,9	1.583,816
Média-baixa	326,82	326,872
Baixa	104	624

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2011)

Comparando-se com o custo de uma alternativa, presente na Tabela 18, com o valor máximo aceitável apresentado, nota-se que, para as classe média-alta, média-baixa e baixa, os economizadores são inviáveis por possuírem valor superior ao aceitável. Tal fato sugere que não devem ser empregados todos os tipos de economizadores numa unidade habitacional e sim a escolha pontual de um ou dois.

Numa análise estatística dos dados de todos os estudos nacionais citados neste capítulo, tem-se a distribuição dos valores de economia de água no gráfico da Figura 17.



Tabela 18- custos da implantação das alternativas de conservação de água

RENDA	ALTERNATIVA	Economia de água (%)	CUSTO IMPLANTAÇÃO (R\$/ano/moradia)	CUSTO DE Operação (R\$/ano/moradia)	Payback (anos)
Média-baixa	Reúso de água com tonel	6,9	94,70	0	1,0
	Economizadores	64,7	5.790,13	10,14	3,8
Média-alta	Economizadores	41,5	4.021,32	0,53	4,5
	Chuva 1	0,7	40,23	0,61	5,5
	Reúso 3	26,7	370,30	34,34	1,4
Alta	Chuva 1	11,0	1.846,85	24,47	2,0
	Chuva 3	30,6	10.144,00	66,86	4,0
	Tonel Balde	9,5	94,70	0	0,2
	Economizadores	39,5	9.234,23	24,52	3,0
Baixa	Economizadores	61,4	4.717,82	9,70	4,4
	Tonel Balde	6,8	94,70	0	1,6

Fonte: Sant'Ana (2011)

Onde:

Chuva 1 refere-se a alternativa de aproveitamento da água da chuva, tendo a demanda oriunda da irrigação e lavagem de pisos

Chuva 3 refere-se a alternativa de aproveitamento da água da chuva, tendo a demanda oriunda da irrigação, lavagem de pisos, descarga nas bacias sanitárias e lavagem de roupas

Reúso 3 refere-se a alternativa de reúso de águas cinzas, tendo a demanda oriunda da irrigação, lavagem de pisos, descarga nas bacias sanitárias e lavagem de roupa

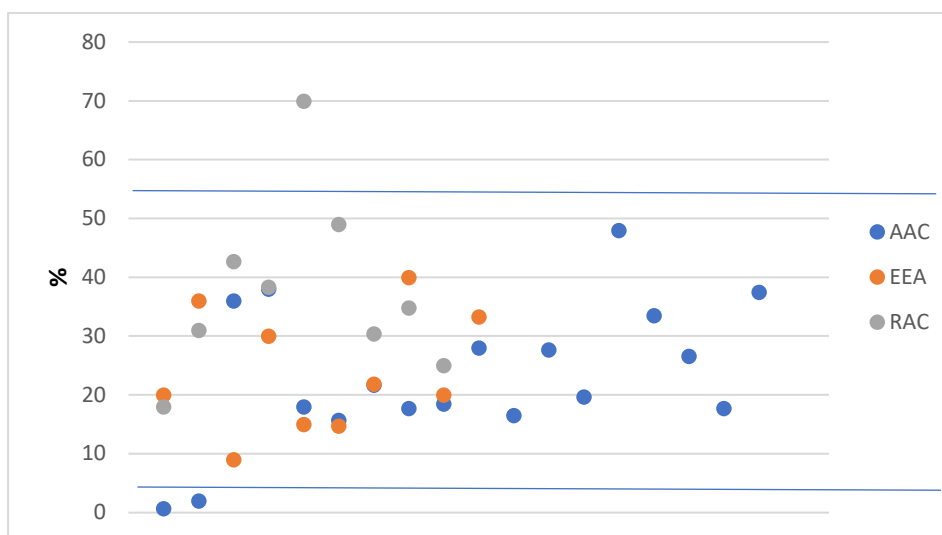


Figura 17- resumo dos valores de conservação de água dos estudos nacionais

Na busca por *outlier*, cujo intervalo está marcado no gráfico, apenas três pontos aparecem: um da curva do RAC e dois do AAC. Considerando-se separadamente cada alternativa de conservação de água, obteve-se a Tabela 19.

Tabela 19- tratamento estatístico dos valores percentuais de economia água

	EEA	AAC	RAC
Amostras	10	18	9
Média	24,42	24,87	40,15
Mediana	21,83	21,7	36,56
Desvio padrão	10,81	11,15	14,22
Intervalo de confiança 95%	16,27 a 31,73	18,45 a 29,55	29,07 a 50,93

Numa análise comparativa entre a média e mediana, tem-se que a diferença entre elas é de, respectivamente, 11%, 14% e 9%. Diante das baixas diferenças relativas e do desvio padrão também ser baixo, concluiu-se que a amostra possui conformidade e a média poderia ser utilizada como valor de referência para cada alternativa.

O valor do ciclo de vida de cada alternativa adotado foi de 30 anos, assim como o estudo de Sant'Ana (2011). Tal assertiva é condizente com o mercado atual, onde um financiamento de grande porte, tal qual um apartamento, tem o prazo máximo é de 30 anos.

### 2.3 A AUTODEPURAÇÃO

Um curso de água possui a capacidade de estabilizar algumas cargas lançadas, retornando ao equilíbrio do meio aquático. Porém, o excesso de matéria orgânica em um corpo d'água aumenta a DBO e tem, por consequência, um maior consumo de oxigênio dissolvido, afetando todo o ambiente. Esse fenômeno de recuperação por mecanismos naturais chama-se autodepuração (Von Sperling, 1996).

Todo curso de água tem um limite de autodepuração. As condições ideais de sobrevivência dos organismos aeróbios acontecem com teor mínimo de OD de 2 mg/L a 5 mg/L, tendo valores ideais acima de 10 mg/L (IBGE, 2019).

A vazão do rio tem relação direta com a capacidade de autodepuração. Quanto maior a vazão, maior sua capacidade em diluir e conseqüentemente degradar aquela carga. Assim, além da necessidade do estudo do esgoto lançado, faz-se necessário conhecer e limitar as captações e desagües pelos rios (Governo do Distrito Federal, 2017).

O processo de autodepuração ocorre conforme Figura 18, onde as variações de OD e matéria orgânica podem ser vistas desde o lançamento até a parte final do curso de água. A autodepuração é composta por cinco zonas: de degradação, de decomposição ativa, de recuperação e de águas limpas. Para maioria dos estudos de conservação de água apenas a zona de degradação e limpa são necessárias. A modelagem matemática do processo foi feita por Streeter-Phelps em 1925.

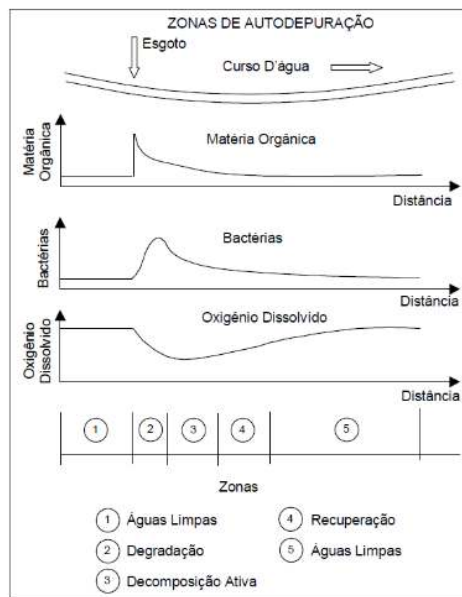


Figura 18-Mecanismo do processo da autodepuração  
 Fonte: dos Santos et al. (2010)

Um rio que não está poluído normalmente tem o nível de oxigênio dissolvido próximo à saturação. A introdução de uma descarga pontual de esgoto bruto eleva a concentração de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, deixando a água turva, impedindo a livre penetração da luz e prejudicando o crescimento vegetal. Esse fato provoca a redução do processo de fotossíntese e da reposição de oxigênio, alterando o sistema (Chapra & Chapra, 1997).

O processo de autodepuração entende-se como o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Como parte integrante desse processo, os compostos orgânicos são convertidos em compostos estáveis, como gás carbônico e água, e não são prejudiciais do ponto de vista ecológico. O ecossistema pode atingir de novo o equilíbrio, porém em condições diferentes das anteriores, devido ao incremento da concentração de certos produtos e subprodutos da decomposição (Von Sperling, 2005).

### 2.3.1 Modelo de Streeter-phelps

Os modelos de autodepuração variaram ao longo da história conforme os estudos e o avanço das soluções computacionais. O modelo de Streeter Phelps, um dos mais consagrados, é formado por duas equações diferenciais ordinárias, que tem como solução

a Equação 2. Na Equação 3 há demonstração da diluição simples do esgoto no rio e na Equação 4, o decaimento da DBO de acordo com o tempo.

Equação 2

$$C(t) = C_s - \left[ \frac{K1 \times L0}{K2 - K1} \times (e^{-K1 \times t} - e^{-K2 \times t}) + (C_s - C_0) \times e^{-K2 \times t} \right]$$

Onde:

*L* é a DBO final (mg/L)

*L<sub>0</sub>* é a DBO no ponto de mistura (mg/L)

*K1* é o coeficiente de degradação (L/dia)

*K2* é o coeficiente de reaeração (dia<sup>-1</sup>)

*C<sub>s</sub>* é a concentração de saturação de OD (mg/L)

*C<sub>0</sub>* é a concentração inicial de OD (mg/L)

*t* é o tempo necessário para atingir a *C(t)*, em dias

Equação 3

$$L_0 = \frac{(Q_{\text{esgoto}} \times L_{\text{esgoto}} + Q_{\text{rio}} \times L_{\text{rio}})}{(Q_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}})}$$

Onde:

*Q<sub>esgoto</sub>* é a vazão do esgoto (m<sup>3</sup>/dia)

*L<sub>esgoto</sub>* é a DBO do esgoto (mg/L)

*Q<sub>rio</sub>* é a vazão do rio (m<sup>3</sup>/dia)

*L<sub>rio</sub>* é a DBO do rio (mg/L)

Equação 4

$$L(t) = L_0 \times e^{-K1 \times t}$$

A concentração de saturação é função da altitude e da temperatura, conforme Tabela 20. Como o DF está a 1.172m de altitude, e considerando uma temperatura de 25°C, o valor foi calculado por interpolação linear resultando em 7,36 mg/L.

Tabela 20- Valores da concentração de saturação em função da temperatura e da altitude

Temperatura (°C)	Altitude (m)	
---	1000	1500
23	7,8	7,3
24	7,6	7,2
25	7,5	7,1
26	7,3	6,9
27	7,2	6,8

Fonte: von Sperling (1996)

Em um estudo do tempo de depuração em 10 ETE do DF utilizando o modelo QUAL-UFMG (fundamentado no de Streeter-Phelps). Ao utilizarem a vazão mínima (o que significa dizer que apenas 8% das vazões diárias são inferiores a esta), concluíram que a

contaminação dos rios do DF estava numa situação crítica em relação a qualidade da água, chamando atenção para o alto índice de DBO nas águas (ANA, 2017).

O coeficiente de degradação ( $k_1$ ) depende principalmente do tipo de matéria orgânica e da temperatura. Os valores de referência foram obtidos em ensaios de laboratório, conforme Tabela 21.

Tabela 21- Coeficientes de degradação

Origem	K1 (L/dia)
Esgoto bruto concentrado	0,35 - 0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 - 0,40
Efluente secundário	0,12 - 0,24
Corpo d'água limpo	0,08 - 0,20
Água para abastecimento público	<0,12

Fonte: Silva (2006)

O coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) é o fator que mensura o processo de transferência de oxigênio da atmosfera para o corpo hídrico (Pinheiro *et al.*, 2012). Como a oxigenação é o fator de maior relevância na autodepuração dos corpos hídricos, seu valor possui alta influência nos cálculos. Existem diversas equações que buscam um valor aproximado, sem que seja feito o ensaio de campo e de laboratório (Queiroz *et al.*, 2015).

Os rios do DF são, em geral, de altiplano, apresentando baixas vazões e profundidades e coeficientes de reaeração ( $K_2$ ) maiores que o usual da literatura e faixas de valores conforme Tabela 22.

Tabela 22- Coeficiente de reaeração dos rios do DF em função da vazão

Vazão ( $m^3/s$ )	K2 ( $dia^{-1}$ )
$Q > 1,0$	0-20
$0,2 < Q < 1,0$	20-40
$Q < 0,2$	40-80

Fonte: Renan (2017)

Renan (2017) realizou estudos nos rios do DF e, utilizando os modelos de O'Connor, Owens, Formentini, Melching e Tsvoglou, determinando  $K_2$  para cada rio. Após isto, produziu o gráfico da Figura 19, formado por todos os  $K_2$  já determinados e suas respectivas vazões. Através de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados, a equação geral para os rios do DF foi obtida.

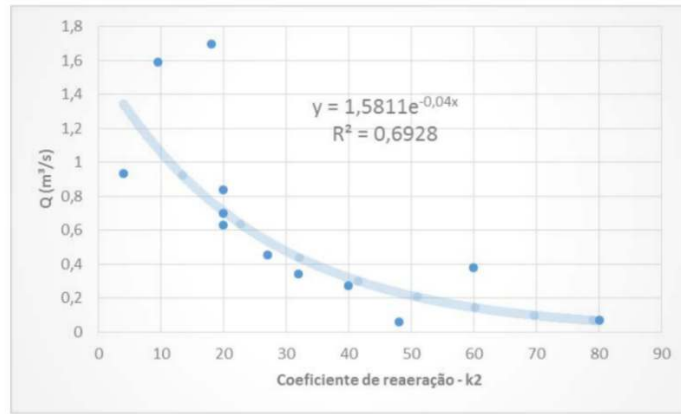


Figura 19- equação geral de K2 para os rios do DF  
 Fonte:Renan (2017)

## 2.4 OS MÉTODOS MULTIOBJETIVO MULTICRITÉRIO

Comprovando a importância do uso do MMC, a Figura 20 mostra a evolução do número de artigos com MMC publicados, ressaltando a tendência e importância do uso desses métodos na atualidade.

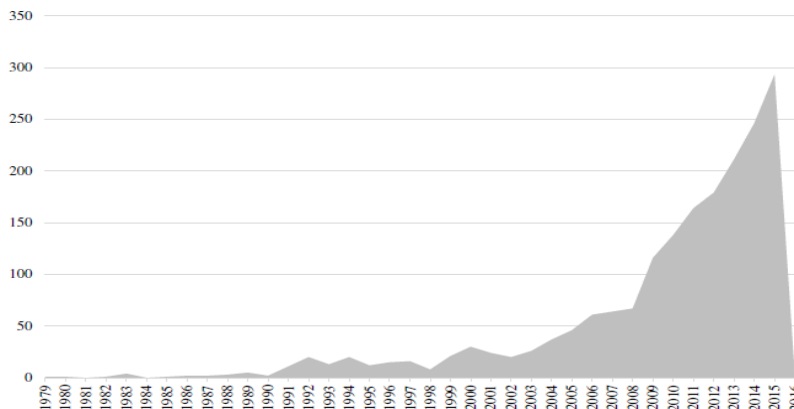


Figura 20- uso dos MMC ao longo dos anos  
 Fonte: Zavadskas et al. (2016)

Antes do advento da análise multicritério, a definição de melhor ação era feita de acordo com um único ponto de vista, normalmente o econômico. No entanto, é raro encontrar aplicações concretas onde um único ponto de vista seja suficiente. Nessa mesma ideia, existiu uma tendência de monetarização e materialização das variáveis de decisão envolvidas com os métodos econômicos (SOUZA, 1992), aumentando as incertezas.

Meirelles & Gomes (2009) citam que, para um correto processo de decisão, faz-se necessário colher informações, atribuir importâncias ou pesos, buscar os candidatos a

solução e, por último, escolher a melhor solução. Nessa escolha é possível ir além dos tradicionais aspectos econômicos, utilizando também os aspectos sociais, os ambientais, os políticos, entre outros, por meio de escalas e medidas adequadas (Roy & Vanderpooten, 1997).

A abordagem tradicional da análise técnico-econômica, tal qual é descrita por Kramer (2005), tem cedido lugar a uma análise mais ampla, com diversos objetivos. Essa nova análise é mais complexa, porém tem maior sustentação de argumentação pois se aproxima mais dos problemas e decisões enfrentadas no dia a dia (De Freitas & Kladis, 1995). Os novos métodos conseguem lidar com os diferentes atores, que visualizam o problema com perspectivas diferentes e criam os conflitos de opinião ou interdependência das alternativas (Paoli & De Moraes, 2011).

Devido a essa análise mais ampla, os MMC têm sido muito utilizado em decisões com objetivo ambiental e em gestão de recursos hídricos. Isso ocorre porque nestas áreas há uma alta incerteza, objetivos complexos (Linkov *et al.*, 2006), dificuldade na identificação do decisor, várias linhas de pesquisa, necessidade de estabelecer prioridades, entre outros fatores (Souza *et al.*, 2001). Trata-se de um método que classifica ou avalia o desempenho das opções de decisão em múltiplos critérios, garantindo que os resultados tenham um significado claro em termos de sustentabilidade (Boggia & Cortina, 2010).

Para atingir a melhor solução, o MMC considera, em sua essência, o princípio de Pareto: o ponto de equilíbrio ocorre em certa posição quando é impossível deslocar-se sem que outros atores tenham a sua satisfação diminuída ou aumentada. Contudo, em casos mais complexos, o MMC poderá indicar uma solução de compromisso ou consenso que não seja obrigatoriamente a solução ótima (Tedesco, 2018a). Isto ocorre devido à impossibilidade de atender todos as óticas do processo. Posto de forma simples, uma alternativa é dita ser a "ótima de Pareto", se não há alternativa exequível que melhorará um atributo sem degradar outro.

Para um problema ser considerado multicritério, este deverá possuir no mínimo duas alternativas com relação a diferentes critérios para a tomada de decisão, ou seja, estar sob vários pontos de vista, com vasto corpo de dados que muitas vezes são imprecisos ou incertos e com preferências conflitantes (Guarnieri *et al.*, 2015). O exemplo clássico está na compra de um carro: o custo é um dos principais critérios, assim como conforto, a

segurança, número de lugares, manutenção e a economia de combustível. A dificuldade da decisão surge no modelo tradicional de preferência: desejando-se escolher o café mais doce, uma xícara de café contendo 11 mg de açúcar é preferível a uma xícara de café contendo 10 mg de açúcar ou é indiferente?

Em geral, os métodos seguem uma estrutura de definir o problema, identificar opções alternativas, definir critérios e objetivos associados, preencher a matriz de desempenho e avaliar o desempenho em relação aos critérios (Melville-Shreeve *et al.*, 2016), aproximando-se das dificuldades encontradas na realidade sem necessidade de simplificações (Caballero & Go, 2010).

#### 2.4.1 Os Tipos De MMC

Os MMC dividem-se em escola americana e francesa. Os mais comuns da escola americana são:

- Método de Análise Hierárquica ou Analytic Hierarchy Process – AHP (SAATY, 1971): comparação quantitativa de critérios dois-a-dois e cada critério deve ser comparado com todos os outros por meio de uma escala numérica;
- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS (Hwang & Yon, 1981);
- Método dos Pesos (ZADEH, 1963);

Já os mais comuns da escola francesa são:

- A família ELECTRE (ROY, B., VANDERPOOTEN, 1996): consiste em sobreclassificar, eliminando uma alternativa que pode ser dominada por alternativas;
- A família PROMETHEE - Preference Ranking Organization method for Enrichment Evaluations (Behzadian *et al.*, 2010) tem os mesmos moldes do ELECTRE, com a introdução de funções para descrever o grupo de preferência.

Como fatores de semelhança entre os métodos, Gonçalves (2001) cita:

- Os axiomas não devem ser normas rígidas;



- Carecem de análise de sensibilidade para verificar sua resposta;
- Necessitam de definição de papéis e pesos dos critérios.

Além da divisão entre as escolas, os métodos de análise da decisão com múltiplos objetivos são divididos em quatro categorias principais: Métodos de Ponderação (regressão linear), Métodos de Eliminação Sequencial (família ELECTRE, PROMETHEE), Métodos de Programação Matemática e Métodos de Proximidade Espacial (TOPSIS).

Basicamente, os métodos se definem segundo a problemática: a problemática  $\alpha$  de apoio na escolha das melhores ações, típico do ELECTRE I; a problemática  $\beta$ , que apoia a triagem das ações segundo normas preestabelecidas, como no ELECTRE TRI; a problemática  $\gamma$ , a qual tem como objetivo o ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente, como nos métodos ELECTRE III e TOPSIS; e, finalmente, a problemática  $\delta$ , que tem por objetivo realizar uma descrição das alternativas (Meirelles & Gomes, 2009). A definição da problemática na qual um problema específico se enquadra fornece um argumento de que métodos devem ser utilizados. No caso deste estudo adotou-se a problemática  $\gamma$ .

Destacam-se algumas características do método TOPSIS (Sant'Ana *et al.*, 2012):

- Permite incluir um número ilimitado de propriedades e atributos;
- Gera uma ordenação de alternativas, com escores que fornecem um melhor entendimento das diferenças e similaridades entre alternativas;
- É relativamente simples, com um procedimento sistemático e de baixo esforço computacional;
- Possui uma metodologia racional e compreensível;
- Oferece as vantagens do ELECTRE e do PROMETHEE sem as desvantagens associadas a esses.

Já o método ELECTRE III, apesar da quantidade de iterações, apresenta as vantagens (Ayala & Frank, 2013):

- Tem definições do relacionamento de dominância, facilitando a análise de sensibilidade;
- Aceita a incomparabilidade das alternativas.

Ressalta-se que os MMC não são absolutamente convergentes entre si. A aplicação de métodos distintos ao mesmo problema pode resultar em diferentes respostas. Contudo, em geral, as primeiras alternativas mantêm-se inalteradas, reforçando sua superioridade.

Tscheikner-Gratl et al. (2017) comparou os métodos ELECTRE, AHP, WSM, TOPSIS, e PROMETHEE num estudo de caso de redes de esgoto, obtendo pequenas diferenças nos desvios padrão entre eles, exibidas na Tabela 23.

Tabela 23- desvio padrão entre resultados dos MMC

Método	AHP	ELECTRE	PROMETHEE	TOPSIS
AHP	-	6,00	3,3	2,81
ELECTRE	-	-	5,10	7,10
PROMETHEE	-	-	-	4,31
TOPSIS	-	-	-	-

Fonte: Tscheikner-Gratl et al. (2017)

#### 2.4.1.1 ELECTRE

Foi apresentado pela primeira vez por Bernad Roy em 1968. A sigla ELECTRE, no idioma francês significa ELimination Et Choix Traduisant la REalité cuja tradução é: Representação da realidade por eliminação e escolha (Souza *et al.*, 2001). É considerada uma filosofia de apoio a decisão com aplicações em diversas áreas. Existem diversas versões da família ELECTRE (I, IS, II, III, IV e TRI).

O ELECTRE I idealiza a separação das alternativas preferidas na maioria dos critérios e que, simultaneamente, não causam descontentamento inaceitável nos outros critérios (Souza *et al.*, 2001).

O ELECTRE II consegue produzir uma ordenação completa das alternativas. Utiliza a mesma lógica do método anterior, porém acrescenta condições de comparação (Souza *et al.*, 2001).

A evolução para o ELECTRE III tem a inovação e atratividade da utilização das funções  $q$ ,  $p$  e  $v$ , que indicam indiferença, preferência e veto. Assim, a mudança da indiferença para preferência não ocorre em um ponto, mas sim em uma faixa, deixando o método com uma gradação contínua.

A classificação final deverá atender os requisitos:

- Se “a” é preferível a “b”, dentro das duas pré-classificações, então “a” será

preferível a “b” no ranqueamento final;

- Se “a” é equivalente a “b”, em uma das pré-classificações, mas ela é preferível na outra, então “a” é preferível a “b”;
- Se “a” é preferível a “b” em uma das pré-classificações, mas na outra pré-classificação “b” é preferível a “a”, então as duas ações serão incomparáveis entre si.

#### 2.4.1.2 TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido em 1981 por Kwangsun Yoon e Hwang Ching-Lai. Sua sigla em inglês representa *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, significando Técnica de Ordenamento de Preferências por Similaridade a uma Solução Ideal. É o segundo método mais popular do MMC (Zavadskas *et al.*, 2016).

O conceito geral é que a alternativa deve ter a menor distância da solução ideal e a maior da pior solução. Nota-se, portanto, ser um método definido por distâncias conforme ilustra a Figura 21, onde as soluções são hierarquizadas pela sua distância a solução ideal negativa (NIS) e a solução ideal positiva (PIS). Suas respostas são equivalentes aos outros métodos, mas apresenta simplicidade e interpretação física, o que colabora com a decisão e verificação de erros (V. Salomon, E. Pamplona, 1999).

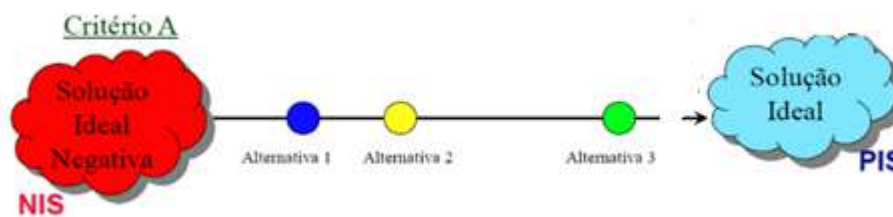


Figura 21- Representação esquemática do conceito do método TOPSIS  
Fonte: adaptado de Cordeiro (2010)

Após alguns anos, o método teve o conceito de distância de Chebyshev adaptado ao seu conteúdo. Assim, dependendo do desejo do usuário, poderá escolher entre as alternativas com melhores utilidade de grupo, ao menor desvio máximo ou as alternativas com maiores desvios máximos, conforme Tabela 24.

Tabela 24 - Distâncias aplicadas ao método

Expoente	Uso
1	Favorece a escolha com melhor utilidade de grupo. Distância de Manhattan
2	Favorece à obtenção de alternativas que minimizem o desvio máximo, dando preferência para alternativas que não apresentam grande distância do vetor ideal em nenhum dos critérios. Distância Euclidiana.
Infinito	Privilegia alternativas que produzam desvios máximos. Distância de Chebychev

Fonte: Rocha (2011)

O método vem sendo aplicado em áreas ambientais para avaliação dos serviços de saneamento, para avaliação da intensidade da poluição das águas subterrâneas, na avaliação do risco ambiental na poluição das águas subterrâneas e na avaliação do índice de qualidade das águas subterrâneas, entre outros (Tedesco, 2018b).

Em ambos os métodos, a análise de sensibilidade deve ser testada a fim de procurar se ocorrem mudanças quando os pesos dos critérios são alterados e a velocidade com que uma solução pode se degradar (Tedesco, 2018b). Convém que essa alteração seja sutil, mostrando a estabilidade do modelo.

#### 2.4.2 As aplicações

O uso dos MMC ainda é baixo em comparação aos métodos econométricos, principalmente quando aplicados a conservação de água (Zuffo *et al.*, 2002). Esta aplicação, apesar de não ser inédita, coloca este estudo num grupo seletivo, citando-se:

Uma pesquisa sobre a aplicação do método de reuso de água aplicada a casas históricas, em Taiwan, foi realizada utilizando o AHP e TOPSIS (Wang *et al.*, 2010).

O sistema multicritério formado pelo aproveitamento da água de chuva aplicado a uma residência do Reino Unido, com o uso de tecnologias locais disponíveis pela indústria, foi avaliado por Melville-Shreeve *et al.* (2016). O foco foi estabelecido no custo de instalação, água potável economizada, consumo de energia, redução das enchentes e redução da quantidade de água de chuva descartada no esgoto.

Chhipi-Shrestha *et al.* (2019) estudaram as alternativas para o reuso de água por meio do método multicritério da teoria dos jogos, aplicada à cidade de Penticton, no Canadá. O resultado demonstrou que a irrigação dos gramados, dos campos de golfe, dos parques públicos, e a utilização nas descargas dos banheiros apresentam benefícios similares.

O ELECTRE I e ELECTRE II foram utilizados para hierarquizar as alternativas de variação da tarifa, racionamento, campanha, reúso e economizadores por Santos (1991). No total, a amostra tinha 47 edificações de alta renda. O ELECTRE III e o CP foram aplicados para hierarquização de investimentos de projetos de abastecimento d'água no semiárido.

Lobato (2005) levantou dados de consumo por meio do teste AQUA de uma edificação residencial de Curitiba e utilizou o ELECTRE III. Como cenários teve-se a utilização de economizadores de água, a utilização de água cinza em bacias sanitárias, a medição individualizada e o uso de água de chuva para lavagem. O autor aplicou aos cenários em questão os critérios de: porcentagem utilizada, custo de implantação e operação, alcance do abastecimento, período de retorno, risco microbiológico, impacto no sistema e redução do consumo *per capita*. O peso desses critérios foi calculado e a redução do consumo atingiu o maior peso.

O ELECTRE III foi empregado para definir a melhor medida de conservação de água a ser aplicada em um edifício modelo de Curitiba. Como resultado, os pesquisadores obtiveram a substituição das bacias sanitárias (Costa & Borges, 2008).

Batista et al. (2015) propuseram um modelo de escolha de alternativas de conservação de água, com apoio do PROMETHEE V, em três macro categorias: ações voltadas à diminuição do consumo de água; voltadas à qualidade da água; e à eficiência operacional do sistema. O resultado foi a necessidade de controle de vazamentos na rede de abastecimento.

O estudo prévio de Vianna (2017) teve aplicação em um prédio residencial das alternativas de conservação de água com dados coletados de quase cem edificações utilizando o método ELECTRE III e o TOPSIS. Foram estudados dois casos: um de uma edificação nova, a ser construída; e outro de um prédio a ser reformado. Foram oito alternativas: o aproveitamento da água de chuva nas bacias sanitárias; uso apenas de economizadores; não tomar qualquer atitude; uso simultâneo da água do aproveitamento da chuva e do reúso sendo as fontes do tanque e do lavatório e demanda das bacias, limpeza predial e jardins; reúso com fontes do tanque e lavatório com demanda das bacias e limpeza predial; reúso com fontes do tanque e do lavatório e demanda nas bacias, limpeza predial e jardins; reúso com fontes da máquina de lavar roupa e tanque com demanda das bacias, limpeza predial e jardins realizando poucas obras; e reúso com fonte

da máquina de lavar roupa com demanda das bacias, limpeza predial e jardins. Os critérios selecionados foram: valor presente líquido, custo de implantação, custo de operação, tempo de retorno, DBO, SST, coliformes fecais, volume de água reduzido do consumo final, volume de água desperdiçado, volume de água complementar, quantidade de lodo, risco à saúde, risco anual de falta de água, interferências ao morador, área ocupada, consumo de energia e complexidade do sistema. Obteve-se como alternativa preferencial, em ambos os casos, a utilização de economizadores.

## 2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O Distrito Federal é uma macro área urbana com, aproximadamente, 3 milhões de pessoas, tendo um dos maiores crescimentos populacionais do Brasil. Além disto, possui uma alta demanda *percapita*. Estes dois dados atrelados resultam numa elevada demanda.

Na utilização do RAC e do AAC, a água proveniente do método possui uma DBO. Assim, considerou-se os estudos de Santos (2003), Bazzarella (2005), Costa & Borges (2008), Leuck (2008), May(2009) e Jacinto (2010) para determinação destas DBO. Para o RAC, a DBO de montante é de 285mg/L, que, após tratamento, permanece em 45 mg/L. Para o AAC, o valor médio oriundo dos diversos tipos de telhado foi de 6,7 mg/L.

O excesso da de matéria orgânica num curso de água aumenta DBO, diminuindo a quantidade de oxigênio disponível. Cada curso de água tem um limite de auto recuperação. Assim, a equação utilizada para modelar o problema foi a de Streeter-Phelps, formado por duas equações diferenciais ordinárias, pela qual calculou-se a DBO e o OD.

O aumento no uso dos MMC tem ocorrido nos últimos anos, mostrando a necessidade de solução melhores e mais adequadas a um mundo com vários atores, com opiniões distintas, conforme cita Paoli & De Moraes (2011). Assim, recorreu-se ao método por classificar ou avaliar o desempenho das alternativas (Boggia & Cortina, 2010), buscando a solução que atende ao “ótimo de Pareto”, ou seja, se não há alternativa que melhore o cenário sem degradar outra, ela é a solução ótima (Tedesco, 2018a), ou seja, o equivalente entre o equilíbrio entre as forças na Física.

Foi adaptado um método da escola francesa (ELECTRE III) e um método da escola americana (TOPSIS). Para o ELECTRE III utilizou-se a inovação e atratividade da utilização das funções q, p e v, que indicam indiferença, preferência e veto, o qual devem

ser definidas para cada critério (Vianna, 2017). Para o TOPSIS, adotou-se as funções com expoentes que busquem as melhores utilidades de grupo ( $p=1$ ).

### 3. METODOLOGIA

No capítulo anterior foram vistos vários estudos que mostram as áreas de estudo e as lacunas de conhecimento. Neste capítulo foram detalhadas as etapas para alcançar os objetivos.

#### 3.1 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO

A metodologia foi dividida conforme os quatorze itens a seguir e resumida pela Figura 22.

Por meio da revisão bibliográfica os critérios de comparação entre alternativas de conservação de água foram definidos pelo autor e, posteriormente, avaliados por meio de questionários. O primeiro questionário foi direcionado a um painel de especialistas. Eles puderam pontuar cada critério, permitindo o cálculo dos pesos dos critérios. As questões relativas à sociedade foram enviadas para um público geral, num segundo questionário, evitando-se, os destinatários do primeiro questionário.

Para o cálculo do faturamento de água e esgoto, adotou-se a política tarifária destacada no item 3.2. Para cada Região Administrativa (RA) obteve-se da referência bibliográfica a renda domiciliar, consumo *per capita*, população e número de domicílios. Diante destes dados foi possível determinar, conforme item 3.3, consumo mensal da RA e residencial, pessoas por domicílio e renda *per capita*.

Com a lista das RA atendidas por cada ETE e dos dados já calculados, obtiveram-se as características da população atendida por cada ETE, conforme item 3.4: consumo mensal de água, o consumo mensal médio residencial, pessoas por domicílio, número de domicílios, população, renda domiciliar e renda *per capita*.

Devido ao grande número de alternativas, foi aplicado um critério mínimo de desempenho, a triagem. Ela tinha por objetivo certificar-se de manter a situação ambiental atual ou melhorar, jamais piorar. Assim, as alternativas que atenderem este critério mínimo passaram a fazer parte da matriz *pay-off*.

Buscando hierarquizar as alternativas e compará-las, segundo critérios distintos, os métodos TOPSIS e ELECTRE III foram aplicados. Ao final, uma análise de sensibilidade



foi realizada, garantindo a robustez do modelo, o qual sugeriu as melhores alternativas e as que deveriam ser evitadas.

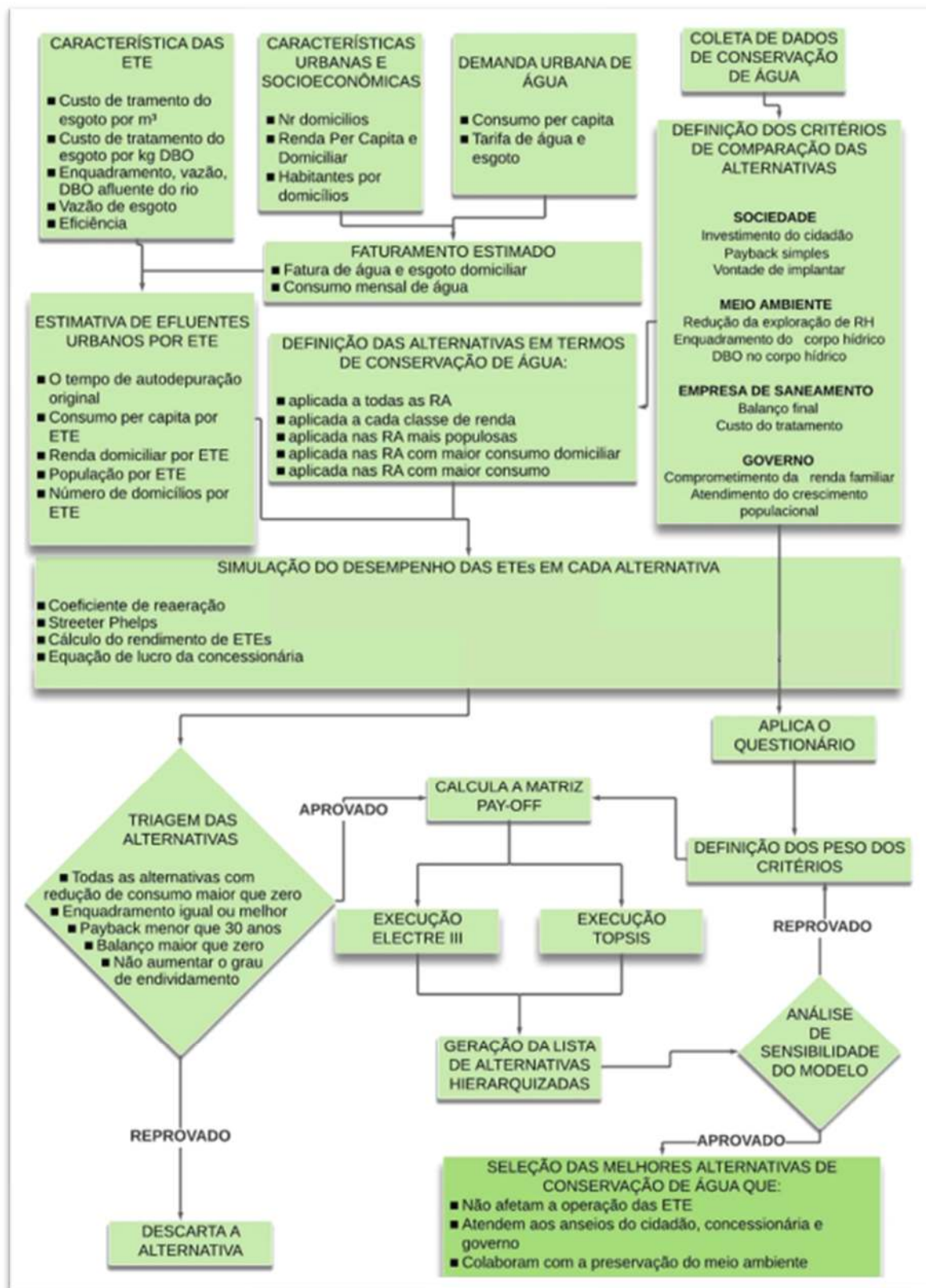


Figura 22-Fluxograma metodológico

### 3.2 SISTEMA TARIFÁRIO ADOTADO

O sistema tarifário do Brasil é tarifado através de faixas de consumo. Na Tabela 25 é exibido o sistema tarifário do Distrito Federal vigente e que foi adotado nesta pesquisa. A tarifação do esgoto corresponde a 100% do valor do consumo de água. Com esta sistemática tarifária foram calculados todos os valores de fatura de água e esgoto deste estudo.

Tabela 25- novo sistema tarifário do DF

Categoria	Classe	Faixa de Consumo (m <sup>3</sup> )	Parte Fixa (R\$)	Parte Variável (R\$/m <sup>3</sup> )
Residencial	Residencial Padrão	0 a 7	R\$ 8,00	R\$ 2,99
		8 a 13		R\$ 3,59
		14 a 20		R\$ 7,10
		21 a 30		R\$ 10,66
		31 a 45		R\$ 17,05
		Acima de 45		R\$ 23,87

Fonte: ADASA (2019a)

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DAS RA

Foram obtidas das referências bibliográficas os dados de cada RA:

- Renda domiciliar;
- Consumo *per capita*;
- População;
- Número de domicílios

A partir destes dados primários, foram calculados os valores de cada característica desejada, conforme as Equação 5 a Equação 8. A variável *i* se refere a cada RA que deverá ser calculada de forma independente.

$\text{Consumo mensal RA (m}^3\text{)} = \sum \text{consumo per capita} \left( \frac{L}{\text{hab}} \right) \times \text{população(hab)} \times \frac{30}{1000}$	Equação 5
$\text{Consumo mensal residencial (m}^3\text{)} = \frac{\text{Consumo mensal total (m}^3\text{)}}{\text{Domicílios}}$	Equação 6
$\text{Pessoas por domicílio}(i) = \frac{\text{População}(i)}{\text{Domicílios}(i)}$	Equação 7

$\text{Renda per capita } \left(\frac{R\$}{\text{hab}}\right)(i) = \frac{\text{Renda domiciliar}(R\$)(i)}{\text{Pessoas por Domicílios } (i)}$	<i>Equação 8</i>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

### 3.4 AGRUPAMENTO POR ETE

Diante da lista das RA atendidas por cada ETE, e a partir dos dados anteriormente obtidos, foram calculados os valores das características de cada ETE. Utilizou-se a média ponderada dos valores com a população ou número de domicílios, conforme o caso, de acordo com as Equação 9 a Equação 17. A variável k se refere a cada ETE que deverá ser calculada de forma independente.

$\text{Consumo mensal total ETE } (m^3) = \sum \text{consumo mensal residencial RA}$	<i>Equação 9</i>
$\text{Consumo mensal residencial ETE}(m^3) = \frac{\text{Consumo mensal total ETE}}{\text{Domicílios ETE}}$	<i>Equação 10</i>
$\text{Pessoas por domicílio ETE}(k) = \frac{\text{População } (k)}{\text{Domicílios } (k)}$	<i>Equação 11</i>
$\text{Custo mensal residencial total } \left(\frac{R\$}{\text{mês}}\right) = \text{Fatura } \left(\frac{R\$}{\text{mês}}\right) + \text{Custo Operacional } \left(\frac{R\$}{\text{mês}}\right)$	<i>Equação 12</i>
$\text{domicílio ETE } (k) = \sum \text{domicílios } (i)$	<i>Equação 13</i>
$\text{população ETE } (k) = \sum \text{população } (i)$	<i>Equação 14</i>
$\text{pessoas por domicílio ETE } (k) = \frac{\text{população ETE}(k)}{\text{domicílio ETE } (k)}$	<i>Equação 15</i>
$\text{Renda domiciliar ETE}(R\$)(k) = \frac{\sum \text{Renda domiciliar } (R\$)(i) \times \text{Domicílios } (i)}{\text{domicílios ETE}}$	<i>Equação 16</i>
$\text{Renda per capita ETE} \left(\frac{R\$}{\text{hab}}\right)(k) = \frac{\text{Renda domiciliar ETE}(R\$)(k)}{\text{Pessoas por Domicílios ETE } (k)}$	<i>Equação 17</i>

Ressalta-se que o agrupamento não produz discrepâncias ou distorções nos valores. Isto ocorre porque os cálculos relativos à renda (com suas variações) e ao consumo (com suas variações) das alternativas ocorrem com base nos dados de cada RA e não nos dados calculados da ETE. Apenas o cálculo do comprometimento da renda leva em conta o valor da renda domiciliar relativa a ETE. Porém, o cálculo anterior a aplicação da alternativa e posterior tem a mesma referência, não produzindo distorção por ser comparativo e não absoluto.

### 3.5 A EFICIÊNCIA DAS ETE

As diversas ETE do DF foram analisadas e equações de regressão linear foram investigadas utilizando dados de vários anos. Entre as diversas unidades que operam no DF, as de interesse foram listadas na Tabela 26, com seus dados de operação, exibidos em mais detalhes no Apêndice A.

*Tabela 26- Dados de operação das ETE do DF*

ETE	DBO Afluente (mg/L)	DBO Efluente (mg/L)	DBO projeto (kg/dia)	Vazão (L/s)	População de projeto	Vazão de projeto (L/s)
Brazlândia	620	70,8	2.2995,5	46,1	29.600	87
Gama	340	7,5	6.188,8	206,9	182.630	328
Melchior	334	28,7	6188,8	859,9	896.799	1.469
Brasília Norte	312	11,2	13.724,6	476,7	260.000	920
Paranoá	597	176,6	5.876,3	79,8	60.000	112
Planaltina	540	47,3	7.178,1	116,1	138.000	255
Recanto das Emas	580	47,4	11.463,4	164,9	125.500	246
Riacho Fundo	427	9,3	2.160,0	46	43.000	94
Samambaia	537	9,7	24.728,4	378,7	180.000	284
Santa Maria	708	22,1	3.538,3	47,7	84.852	154
São Sebastião	534	52,7	7.078,0	125,6	77.717	226
Sobradinho	415	58,8	2.747,6	103,4	146.900	196
Brasília Sul	331	27,8	37.231,5	1.112,3	460.000	1.500

Fonte: adaptado de CAESB (2018a) e ADASA (2017)

Considerando-se que cada tipo de tratamento de esgoto das diversas ETE apresenta eficiência diferente e variável (conforme sua idade, lodo, esgoto de entrada etc.), os dados de rendimento histórico das ETE foram levantados, compondo as tabelas do apêndice A.

Diante da possível variação de DBO, da vazão de esgoto e consequente alteração da eficiência da ETE<sup>8</sup>, optou-se por um tratamento matemático diferenciado, por regressão linear. Para cada ETE, os dados foram compilados em funções de  $x^{-1}$ ,  $x^{-2}$ ,  $x^2$ ,  $x^{1/2}$ ,  $x^{-1/2}$  e  $\ln(x)$ ; tendo como variáveis independentes a DBO e a vazão. Buscando-se equações com grau de precisão elevado, definiram-se os critérios mínimos abaixo.

- $R^2 > 0,60$
- Significância do modelo  $< 5\%$
- Significância das variáveis  $< 30\%$
- Amplitude do intervalo de confiança  $< 30\%$

Após calculados os novos valores de eficiência, verificou-se que alguns produziram resultados maiores que 100%, sendo, portanto, limitados a 100% por questões físicas.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA

Os dados de potencial de redução de consumo (oriundos da Tabela 19) foram aplicados a cada tecnologia de conservação de água, obtendo-se a nova demanda, conforme Equação 18.

$$\text{Nova demanda (m}^3\text{)} = \text{Demanda inicial (m}^3\text{)} \times (1 - PA) \quad \text{Equação 18}$$

*Onde:*

*PA é o potencial de redução de consumo de água da alternativa*

A variação do consumo de água, decorrente da aplicação da alternativa acima, refletiu diretamente no volume de esgoto produzido, alterando a concentração inicial de DBO, conforme Equação 20. Para os casos do AAC e RAC há o acréscimo residual de DBO resultante da alternativa utilizada. Assim, a nova DBO de entrada no reator pode ser definida pela Equação 20. Já a DBO de saída foi definida pela Equação 21.

$\text{Nova } Q_{\text{esgoto}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = Q_{\text{esgoto}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \times (1 - PA)$	<i>Equação 19</i>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

<sup>8</sup> Por exemplo, nos reatores UASB é comum que a eficiência seja alterada em função das variações dos parâmetros de entrada

<p><i>Onde:</i></p> <p><i>PA é o potencial de redução de consumo de água da alternativa</i></p> <p><i>DBOalternativa é a DBO acrescida ao esgoto em função do uso não potável</i></p>	
$\text{Nova DBO entrada } \left(\frac{mg}{L}\right) = \text{DBO inicial } \left(\frac{mg}{L}\right) + PA \times (\text{DBO} + \text{DBOalternativa})\left(\frac{mg}{L}\right)$	<i>Equação 20</i>
$\text{DBO saída } \left(\frac{mg}{L}\right) = \text{Nova DBO entrada } \left(\frac{mg}{L}\right) \times \text{eficiência}(\%)$	<i>Equação 21</i>

Nota-se que a vazão de esgoto oriunda da aplicação dos EEA diminui, enquanto para o aproveitamento da água de chuva e reúso de água cinza não há alteração. Entretanto, estes dois últimos aumentam a concentração da DBO, mesmo que o primeiro seja de um valor irrisório. Assim, apenas a alternativa com EEA e RAC afetam as características do esgoto.

Para as alternativas que tenham como demanda apenas o uso em lavagem de pisos e irrigação (alternativa chuva 1, por exemplo), foi atribuído o valor zero a componente DBO alternativa da Equação 20. Tal fato ocorre em virtude de que a água aplicada não retornará ao esgoto e sim a natureza e/ou rede de drenagem.

### 3.7 CORPOS RECEPTORES

O Governo de Brasília (2017) apresentou um estudo sobre lançamentos de esgotos e captação de água nos rios do DF e sua conseqüente autodepuração. Da análise em questão, concluiu-se que 19 corpos hídricos dos 40 existentes não atenderam algum requisito, podendo afetar o equilíbrio ecológico. Assim, esses dados reforçam a ideia de que é necessária uma análise de todo o contexto para mudanças nos valores de consumo de água e dos parâmetros para a emissão de efluentes.

Ao longo deste estudo, adotou-se o pior cenário, com K2 mínimo, tendo sido utilizado o menor valor entre a equação da Figura 19 e a Tabela 27. Para K1, adotou-se o valor correspondente ao efluente daquela ETE.

<sup>9</sup> A pior condição sempre ocorre com valores máximos para k1 e mínimos para k2.

Tabela 27- Coeficientes K1 e K2 de alguns rios do DF

Rio	K1	K2Min (dia <sup>-1</sup> )	K2Max (dia <sup>-1</sup> )
Córrego Vargem da Benção	1,5	20	40
Riacho Fundo	0,60	5	30
Ribeirão da Papuda	0,18	32	80
Ribeirão Ponte Alta	1,5	4	12
Ribeirão Sobradinho	0,18	8	15
Rio Alagado	0,08	9,5	30
Rio Melchior	1,5	8	20
Rio Paranoá	0,3	53	60
Rio Verde	0,3	4	20
Mestre D'armas	0,18	8	15
Rio Alagado	0,24	9,5	48

Fonte: Renan (2017) e ADASA (2017)

### 3.8 RECEITAS E DESPESAS DA CONCESSIONÁRIA DE SANEAMENTO

Apesar da CAESB existir desde 1969, apenas estão disponibilizados os balanços desde 2002. Já os relatórios anuais da administração estão com acesso franqueado desde 2010. A última versão divulgada até o início deste estudo foi a de 2018. Assim, este estudo restringiu-se ao material disponível.

Os dados referentes às despesas, Figura 23, foram agrupados em conjuntos maiores, somando-se os valores relativos a: pessoal próprio; terceirizados; produtos químicos; energia elétrica; tributos; depreciação; juros; outras despesas e água importada. A análise dos valores, demonstra que os maiores gastos são com pessoal próprio e terceirizado, sendo quaisquer deles maior que a soma entre produtos químicos e energia elétrica, cujos valores têm relação direta com a demanda de água.

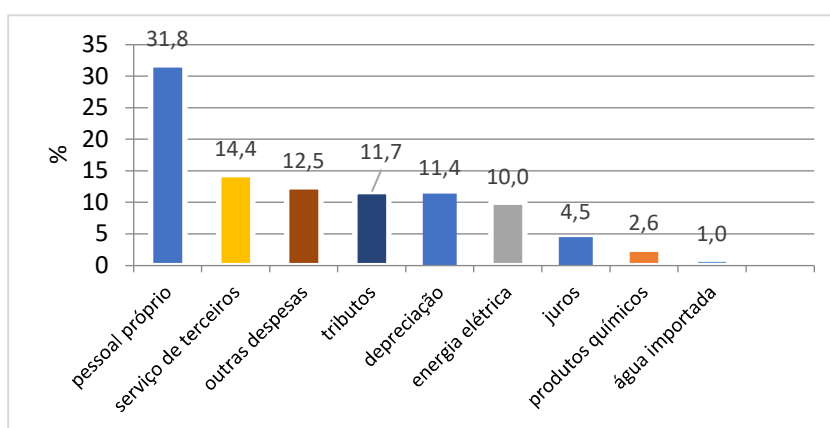


Figura 23- Representatividade dos gastos da concessionária  
Fonte: Adaptado de Ludovice et al. (2016)

No intuito de produzir uma equação de predição do Resultado Líquido do exercício versus volume faturado, buscou-se uma amostra de dados, conforme Tabela 28. Desta tabela foram calculados a receita total e o lucro, conforme Equação 22 e Equação 23.

$$\text{Receita total (R\$)} = \text{Receita água(R\$)} + \text{Receita esgoto(R\$)} \quad \text{Equação 22}$$

$$\text{Lucro(R\$)} = \text{Receita total(R\$)} - \text{Despesas de exploração(R\$)} \quad \text{Equação 23}$$

Visando comparar todos os lucros na mesma época financeira, eles foram convertidos para outubro de 2022 através do IGPM acumulado. Estes valores estão exibidos na Tabela 29. Estes dados foram aplicados numa regressão linear, obtendo-se a Equação 24, com R<sup>2</sup> de 0,67. Para volume de água faturado inferior a 100.000 km<sup>3</sup> há prejuízo para a concessionária. A equação em questão considera apenas volume de água faturado visto que o faturamento do esgoto no DF é 100% do volume de água, não existindo medição separada entre água e esgoto.

$$\text{Lucro}^2(\text{R\$}) = 3,646973879 \times 10^{17} - 4,171504032 \times 10^{27} / \text{volume de água faturado}^2 \quad \text{Equação 24}$$

(km<sup>3</sup>)

Tabela 28- Receita e volume faturados no DF pela concessionária – valores não atualizados

Ano	IGPM Acum (%)	Receita direta de água (R\$)	Receita direta de esgoto (R\$)	Despesas de Exploração (R\$)	Volume de água faturado (km <sup>3</sup> )	Volume de esgotos Faturado (km <sup>3</sup> )
1995	253,7	80.693.698	62.152.789	154.743.682	137.970	112.785
1996	238,46	120.708.687	94.234.665	163.928.458	141.985	115.340
1997	229,27	130.393.449	103.475.873	182.851.872	142.350	114.975
1998	221,53	134.222.222	106.417.158	188.147.436	147.981	124.045
1999	219,74	135.754.836	112.671.546	191.285.751	144.753	129.199
2000	199,64	145.550.318	124.639.157	211.417.592	140.391	128.050
2001	189,69	152.427.354	129.618.477	235.134.513	136.828	124.897
2002	179,32	182.351.435	153.666.151	287.852.110	142.152	127.910
2003	154,02	206.210.215	177.455.931	332.171.381	143.113	127.417
2004	145,33	251.629.858	207.669.623	415.657.619	146.339	128.545
2005	132,91	316.890.097	259.723.052	471.036.493	150.201	130.350
2006	131,71	366.517.625	297.503.328	557.912.592	156.554	132.479
2007	127,86	401.206.973	323.119.104	552.991.262	161.152	134.467
2008	120,11	427.038.024	340.839.343	570.602.367	165.919	136.526
2009	110,3	446.399.834	356.375.122	630.189.875	168.483	139.487
2010	112,01	502.090.119	396.666.809	719.825.678	177.280	146.575
2011	100,69	547.328.313	439.429.414	866.321.833	179.778	149.431
2012	95,59	641.889.825	520.160.524	1.039.001.425	184.222	154.093
2013	87,78	706.694.122	575.298.058	1.080.329.804	186.909	157.154
2014	82,25	751.027.056	604.191.487	1.202.474.626	187.122	156.551
2015	78,58	815.152.379	668.576.401	1.274.785.079	185.300	155.090
2016	68,04	890.020.330	741.580.413	1.345.240.233	187.771	157.298
2017	60,85	828.040.377	691.516.877	1.427.417.442	175.029	145.732
2018	61,38	841.799.765	720.186.279	1.715.693.865	176.918	148.454
2019	53,83	938.573.359	800.649.729	1.427.447.349	185.070	156.800
2020*	46,51	956.500.000	811.000.000	1.300.000.000	166.470	141.460
2021**	23,37	982.200.000	814.900.000	1.470.000.000	155.836	134.291

Fonte: SNIS (2019), \*CAESB (2020), \*\*CAESB (2021)



1995	253,7	80.693.698	62.152.789	154.743.682	137.970	112.785
1996	238,46	120.708.687	94.234.665	163.928.458	141.985	115.340
1997	229,27	130.393.449	103.475.873	182.851.872	142.350	114.975
1998	221,53	134.222.222	106.417.158	188.147.436	147.981	124.045
1999	219,74	135.754.836	112.671.546	191.285.751	144.753	129.199
2000	199,64	145.550.318	124.639.157	211.417.592	140.391	128.050
2001	189,69	152.427.354	129.618.477	235.134.513	136.828	124.897
2002	179,32	182.351.435	153.666.151	287.852.110	142.152	127.910
2003	154,02	206.210.215	177.455.931	332.171.381	143.113	127.417
2004	145,33	251.629.858	207.669.623	415.657.619	146.339	128.545
2005	132,91	316.890.097	259.723.052	471.036.493	150.201	130.350
2006	131,71	366.517.625	297.503.328	557.912.592	156.554	132.479
2007	127,86	401.206.973	323.119.104	552.991.262	161.152	134.467
2008	120,11	427.038.024	340.839.343	570.602.367	165.919	136.526
2009	110,3	446.399.834	356.375.122	630.189.875	168.483	139.487
2010	112,01	502.090.119	396.666.809	719.825.678	177.280	146.575
2011	100,69	547.328.313	439.429.414	866.321.833	179.778	149.431
2012	95,59	641.889.825	520.160.524	1.039.001.425	184.222	154.093
2013	87,78	706.694.122	575.298.058	1.080.329.804	186.909	157.154
2014	82,25	751.027.056	604.191.487	1.202.474.626	187.122	156.551
2015	78,58	815.152.379	668.576.401	1.274.785.079	185.300	155.090
2016	68,04	890.020.330	741.580.413	1.345.240.233	187.771	157.298
2017	60,85	828.040.377	691.516.877	1.427.417.442	175.029	145.732
2018	61,38	841.799.765	720.186.279	1.715.693.865	176.918	148.454
2019	53,83	938.573.359	800.649.729	1.427.447.349	185.070	156.800
2020*	46,51	956.500.000	811.000.000	1.300.000.000	166.470	141.460
2021**	23,37	982.200.000	814.900.000	1.470.000.000	155.836	134.291

Fonte: SNIS (2019), \*CAESB (2020), \*\*CAESB (2021)

Tabela 29- Lucro anual da concessionária

Ano	Receita total (R\$)	Lucro (R\$)	Lucro atualizado (R\$)	Volume de água faturado (km³)
1995	142.846.487	-11.897.195	- 128.721.762,373	137.970
1996	214.943.352	51.014.894	478.962.085,648	141.985
1997	233.869.322	51.017.450	438.672.115,663	142.350
1998	240.639.380	52.491.944	418.925.664,605	147.981
1999	248.426.382	57.140.631	448.006.410,226	144.753
2000	270.189.475	58.771.883	383.677.025,106	140.391
2001	282.045.831	46.911.318	278.534.239,748	136.828
2002	336.017.586	48.165.476	259.110.951,466	142.152
2003	383.666.146	51.494.765	221.086.346,036	143.113
2004	459.299.481	43.641.862	172.390.180,506	146.339
2005	576.613.149	105.576.656	370.965.544,488	150.201
2006	664.020.953	106.108.361	368.412.846,461	156.554
2007	724.326.077	171.334.815	572.828.052,896	161.152
2008	767.877.367	197.275.000	612.115.577,176	165.919
2009	802.774.956	172.585.081	487.666.293,095	168.483
2010	898.756.928	178.931.250	514.394.538,431	177.280
2011	986.757.727	120.435.895	311.023.281,859	179.778
2012	1.162.050.349	123.048.924	302.351.452,723	184.222
2013	1.281.992.180	201.662.376	459.621.221,904	186.909
2014	1.355.218.543	152.743.917	329.885.463,481	187.122
2015	1.483.728.780	208.943.701	435.286.742,009	185.300
2016	1.631.600.743	286.360.510	539.684.348,899	187.771
2017	1.519.557.254	92.139.812	162.001.765,365	175.029
2018	1.561.986.044	-153.707.821	- 271.691.638,789	176.918
2019	1.739.223.088	311.775.739	512.403.644,476	185.070
2020*	1.900.000.000	199.000.000	304.749.011,163	166.470
2021**	1.830.000.000	133.000.000	165.402.367,060	155.836

Fonte: adaptado Fonte: SNIS (2019), \*CAESB (2020), \*\*CAESB (2021)

O lucro em questão foi calculado em relação ao cenário total e não em relação a RA e ETE. Tal premissa permite uma maior robustez do modelo, evitando as discrepâncias entre as diferentes faixas de consumo.

### 3.9 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

A aplicação simultânea das alternativas de aproveitamento da água de chuva e reúso de água cinza não foram computadas pois os estudos de Vianna (2017) e Ghisi & Ferreira (2007) já descartaram tal proposta. O primeiro estudo demonstrou a preferência pelo aproveitamento da água da chuva, enquanto o segundo mostra que o uso simultâneo apresenta pior desempenho que as individuais. O uso de medidores individuais também não foi considerado neste estudo pois já existe a previsão legal do uso obrigatório, sendo apenas uma questão de tempo para que todos tenham o dispositivo.

Para o emprego da alternativa que utiliza o aproveitamento da água da chuva, foi adotada a tecnologia nomeada “chuva 1” (Sant’Ana, 2011), ou seja, a demanda seria para uso na irrigação e na lavagem de pisos. A outra alternativa (demanda oriunda da irrigação, lavagem de pisos, descarga nas bacias sanitárias e lavagem de roupas) não foi adotada pois apresentou valores inferiores em todos os critérios de comparação utilizados nesta pesquisa. O apêndice E mostra as etapas de cálculo que ratificam esta assertiva.

O termo não usual foi utilizado referindo-se ao intervalo de confiança. Ou seja, duas alternativas foram produzidas, uma com os valores do intervalo em questão e outra com os valores acima do limite máximo. A Figura 24 ilustra o processo. Adotou-se para este estudo  $\alpha=95\%$ .

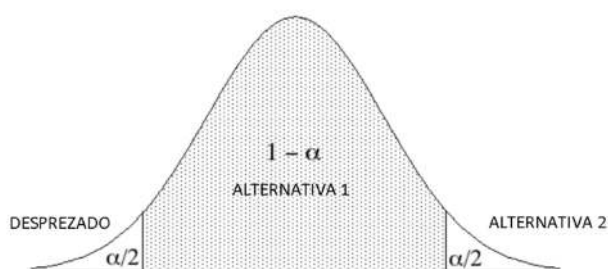


Figura 24- Valores fora da tendência, que foram escolhidos como alternativas

As alternativas propostas seguem abaixo.

- a) NENHUMA ALTERAÇÃO/MUDANÇA: diz respeito ao estado atual e serve apenas para comparação, não se tratando de uma ação.
- b) APLICAÇÃO DO EEA, AAC E RAC, NÃO COMBINADOS, foi aplicada:
  - i. EM TODAS AS RA: trata-se da alternativa radical, aplicação na totalidade, sem estudos específicos.
  - ii. EM CADA FAIXA DE RENDA DAS RA: trata-se da alternativa que busca visualizar o efeito do dispositivo de melhor desempenho instalada em cada faixa de renda.
  - iii. COM A POPULAÇÃO NÃO USUAL NA ÁREA DA ETE;
  - iv. COM CONSUMO TOTAL NÃO USUAL NA ÁREA DA ETE;
  - v. COM CONSUMO DOMICILIAR NÃO USUAL NA ÁREA DA ETE;
  - vi. IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES FACTÍVEIS: devido a facilidade de cálculo e busca do valor do *payback* para cada RA em cada método, foram identificadas as RA com *payback* acima de 30 anos e excluídas da geração de alternativas, repetindo-se as alíneas i a v sem elas. Também foram excluídas as ETE que pioraram a qualidade do corpo hídrico, seja por DBO ou enquadramento.

### 3.10 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Para comparação das alternativas foram estabelecidos critérios de comparação, com seus respectivos pesos. Foram realizados dois questionários, um com a sociedade em geral, escolhidos aleatoriamente e outro com um painel de especialistas composto por 1858 pessoas de diversas instituições, ( a saber UNB, UFMS, IFMS, IME, UFRJ, ADASA, IPT, UFBA, UFGRS, CEF, CAESB, UERJ, UNICAMP, UFC, USP, UFSC, UTFPR, ICMBIO, MMA, SIPAM, SECIMA, INCRA, IBAMA, CPRH, SEMA, IBRAM, CREA, IAB, CAU, TERRACAP, SEFAZ, EB, FUNAI, IBRAM, DPF, ANA, MPBA, MPSE, MPDF, EMATER, UNIRIO, MPMA, UFSJ, PUCRIO, PUCPR, UFPR, UFMG, UFAL, UEPB, IFCE, UFPA, SANESUL, SANEPAR, ÁGUAS GUARIROBA e CEDAE).

De posse dos critérios da Tabela 30, determinados pelo autor, os especialistas e gestores foram consultados. Para tanto, utilizou-se o programa *Lime Survey* para a coleta e organização das respostas. O método seguiu as etapas de desenvolvimento do

questionário inicial, seleção dos participantes, envio do questionário, análise estatística e determinação dos pesos. As perguntas dos questionários encontram-se no Apêndice B.

Tabela 30 – Critérios de julgamento

ATOR	CRITÉRIO DE JULGAMENTO	Preferível	UNIDADE
SOCIEDADE	Investimento do cidadão	Menor	R\$ x 10 <sup>6</sup> /ano
	Payback simples	Menor	Anos
	Vontade de implantar	Maior	%
MEIO AMBIENTE	Redução da exploração de RH	Maior	m <sup>3</sup> /ano x 10 <sup>6</sup>
	Enquadramento do corpo hídrico	Menor	-
	DBO no corpo hídrico	Menor	mg/L
EMPRESA DE SANEAMENTO	Lucro	Maior	R\$/ano x 10 <sup>6</sup>
	Custo do tratamento	Menor	R\$/ano x 10 <sup>3</sup>
GOVERNO	Comprometimento da renda familiar	Menor	-

Cada participante recebeu um questionário solicitando que avaliasse a importância de cada critério, que foi computado por meio da Escala de *Likert*. Posteriormente, a cada valor foi conferido uma pontuação de 0 a 5, conforme Tabela 31.

Tabela 31 – Pontuação do questionário

Resposta	Pontuação
Não é importante (A1)	1
Às vezes importante (A2)	2
Moderado (A3)	3
Importante (A4)	4
Muito importante (A5)	5
Sem resposta	0

Com base nas respostas, foi calculado o percentual dos votos referente a cada, tendo como razão apenas os votos válidos<sup>10</sup>, pela Equação 25 e Equação 26. A variável *j* se refere a cada critério que deverá ser calculado de forma independente, enquanto a variável *z* se refere a cada objetivo (conjunto de critérios)

$Pesocritério(j) = \frac{\sum Pontuação(j) \times votos\ válidos(j)}{total\ votos\ válidos}$	Equação 25
$Pesoobjetivo(z) = \sum pesocritério(j)$	Equação 26

<sup>10</sup> O total dos votos válidos foi o número de entrevistados que preencheram alguma resposta naquela questão.

Buscando facilitar a compreensão e visualização dos pesos, eles foram homogeneizados tendo como soma total 100, conforme Equação 27 e Equação 28.

$Peso_{objetivo}(z) = 100 \times \frac{peso_{objetivo}(z)}{\sum peso_{objetivo}(todos)}$	Equação 27
$Peso_{critério}(i) = peso_{objetivo}(z) \times \frac{peso_{critério}(j)}{\sum peso_{critérios}(objetivo)}$	Equação 28

Ambos os questionários analisaram o grau de escolaridade de cada participante, mantendo um nível mínimo de escolaridade de mestrado para os especialistas e máximo de pós-graduação para a sociedade em geral. Desta forma, garantiu-se que não houve interferência na opinião da sociedade e restringiu-se o aparecimento de classes mais altas apenas. Tal assertiva tem como parâmetro o (IBGE, 2019), o qual cita que 6% são analfabetos, 30% têm ensino fundamental incompleto, 15% têm ensino fundamental, 27% ensino médio, 20% tinham ensino superior e menos de 2% mestrado e doutorado.

De posse de todos os pesos e critérios, o método multicritério foi implementado. Para tanto foram escolhidos dois métodos tradicionais, um de cada escola: o método ELECTRE III e o TOPSIS. O primeiro foi aplicado utilizando-se o programa LAMSADE (*Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Systèmes pour l'Aide à la Décision, da Universidade de Paris Dauphine*). Nesse processo fez-se necessário determinar os limites de preferência, indiferença e veto. Os valores do limiar de preferência foram definidos respeitando-se as individualidades e valores absolutos de cada critério.

Já o método TOPSIS possui a opção de ser utilizado com três expoentes distintos. Nesse estudo, o modelo foi calculado utilizando apenas o expoente 1, que prioriza as melhores utilidades de grupo, ou seja, tentou manter todos os *stakeholder* unidos.

Em ambos os métodos foi realizada a análise de sensibilidade, que envolve a determinação do tamanho e a importância da magnitude de risco para mudanças nos parâmetros de entrada individuais. Ela foi usada para identificar os dados que necessitam maior detalhamento e pesquisa por apresentarem faixa de variação estreita, tornando a resposta muito sensível. Uma análise de sensibilidade é importante para o tomador de decisão, pois fornece informações adicionais sobre a robustez do modelo. Por exemplo,

num estudo com método multicritério em relação a implantação de economizadores de água, a variação do valor de uma torneira em R\$10,00 não afetará o resultado.

### 3.11 VALORES DOS CRITÉRIOS

Cada critério utilizado na comparação entre as alternativas de conservação de água foi detalhado nos próximos itens.

#### 3.11.1 Investimento Do Cidadão

Para definição dos custos de implantação dos economizadores, do sistema de aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza foram adotados os valores das pesquisas anteriores. Os valores em questão foram corrigidos pela inflação explicitada no apêndice D, produzindo a Tabela 32.

*Tabela 32- investimento do cidadão (atualizados para valores atuais)*

RENDA	ALTERNATIVA VIÁVEL	CUSTO (R\$)
Média-baixa	Reúso de água com tonel	151,15
	Economizadores	9.241,53
Média-alta	Economizadores	6.418,36
	Chuva com cisterna de 1m <sup>3</sup>	64,21
	Reúso 3	591,03
Alta	Chuva 1	2.947,73
	Chuva 3	16.190,67
	Tonel Balde	151,15
	Irrigação subsuperficial	8.440,30
	Economizadores	14.738,60
Baixa	Economizadores	7.530,03
	Tonel Balde	151,15

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2011)

Onde:

- *Chuva 1 refere-se a alternativa de aproveitamento da água da chuva, tendo a demanda oriunda da irrigação e lavagem de pisos*
- *Chuva 3 refere-se a alternativa de aproveitamento da água da chuva, tendo a demanda oriunda da irrigação, lavagem de pisos, descarga nas bacias sanitárias e lavagem de roupas*
- *Reúso 3 refere-se a alternativa de reúso de águas cinzas, tendo a demanda oriunda da irrigação, lavagem de pisos, descarga nas bacias sanitárias e lavagem de roupas*

O valor do investimento do cidadão agrupado pela ETE de operação local foi determinado conforme Equação 29 e Equação 30, ou seja, pela soma dos investimentos de cada RA.

$\text{Investimento ETE } (j) = \sum \text{investimento RA}(i)$	<i>Equação 29</i>
$\text{Investimento RA } (i) = \sum \text{investimento classe renda}(i) \times \text{Nr Domicílios RA } (i) \times 10^{-6}$	<i>Equação 30</i>

### 3.11.2 Vontade De Implantar

O estudo de Sant’Ana (2011) apontou a preferência por cada tipo de alternativa de conservação de água pela população. Assim, utilizou-se as figuras do item 2.2.6 para determinar os valores de aceitação de cada alternativa em suas respectivas RA. O valor da população satisfeita de todas as RA foi somado e verificado o percentual frente a população do DF

A Equação 31 demonstra o cálculo adotado, utilizando a população do DF em 3.053.480.

$\text{Vontade de implantar } (\%) = \frac{\sum \text{População RA}(i) \times \text{TA}(i)}{3.053.480} \times 100$	<i>Equação 31</i>
<i>Onde:</i>	
<i>TA= taxa de aceitação</i>	

### 3.11.3 Payback Simples

O uso dos MMC, que combina e compara diferentes critérios simultaneamente, permite o uso do *payback* simples ao invés do *payback* descontado, sem afetar a resposta do problema, diminuindo a complexidade matemática e tempo de processamento. Assim, há uma simplificação matemática do problema sem perder a precisão.

Inicialmente, cada RA teve seu *payback* simples determinado com apoio da bibliografia, conforme a Tabela 33. Posteriormente, este valor foi utilizado na formação do *payback* da ETE.

Considerando que todo o cálculo financeiro foi realizado por RA, adotou-se o maior valor entre todos os *payback* das RA que compõe a área de atuação da ETE, garantindo o retorno global de toda a sociedade envolvida.

Tabela 33- *payback* dos investimentos

RENDA	ALTERNATIVA	Economia de água (%)	Payback (anos)
Média-baixa	Reúso de água com tonel	6,9	1,0
	Economizadores	64,7	3,8
Média-alta	Economizadores	41,5	4,5
	Chuva com cisterna de 1m <sup>3</sup>	0,7	5,5
	Reúso 3	26,7	1,4
Alta	Chuva 1	11,0	2,0
	Chuva 3	30,6	4,0
	Tonel Balde	9,5	0,2
	Irrigação subsuperficial	15,8	7,9
	Economizadores	39,5	3,0
Baixa	Economizadores	61,4	4,4
	Tonel Balde	6,8	1,6

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2011)

### 3.11.4 Redução Da Exploração Dos Recursos Hídricos

A redução da exploração dos recursos hídricos foi calculada pelo somatório da economia mensal (m<sup>3</sup>/mês) de cada RA. Os índices de redução de consumo que foram aplicados são os exibidos na Tabela 33, aplicados conforme Equação 32.

$$\text{Redução exploração ETE } (j) \text{ (m}^3\text{)} = \sum \text{índice de redução } (j) \times \text{consumo mensal RA } (i)$$

Equação 32

### 3.11.5 Variação Da Qualidade Do Corpo Hídrico Após A Nova Mistura

A variação da DBO de entrada e do volume de esgoto provocaram variações no fenômeno da autodepuração, tendo como reflexo um novo valor da DBO a jusante no corpo hídrico, conforme item 2.3.



A vazão do rio foi mantida constante em todas as simulações. O valor de referência foi a vazão mínima de estiagem ( $Q_{7,10}$ ), sendo a condição de pior caso, com menor vazão do rio para realizar a diluição.

A vazão de esgoto original também foi obtida da referência bibliográfica da concessionária local. Assim, foi adotada a média anual das vazões de entrada nas ETE. Tal procedimento serviu para garantir a robustez do valor, evitando-se influência externas (como a temperatura). Por ocasião da aplicação de uma alternativa de conservação de água, foi considerada a redução do volume de esgoto na entrada da ETE em função da adoção de uma tecnologia de conservação de água, conforme Equação 19.

Para a DBO do rio, foram considerados os enquadramentos antes e depois da mistura, definido no Plano de Gerenciamento Integrada de Recursos do Distrito Federal (PGIRH), conforme mapa do anexo F e Tabela 34.

Tabela 34- DBO e OD

RIO	Antes da mistura		Após a mistura	
	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
Verde	8	0	5	5
Ponte Alta	6	10	4	10
Melchior	6	5	2	11
Lago Paranoá	6	3	5	5
Rio Paranoá	6	3	5	5
Mestre D'armas	6	5	4	10
Vargem Da Benção	6	5	2	11
Melchior	6	5	2	11
Alagado	6	5	4	10
Papuda	6	3	4	10
Sobradinho	6	5	4	10
Riacho Fundo	6	10	5	5
Lago Paranoá	6	3	5	5

Fonte: Adaptado de Distrito Federal et al. (2012)

O cálculo do tempo original da autodepuração necessário para reduzir a DBO foi realizado pelas Equação 3 e Equação 4, do item 2.3. Este tempo serviu de base para comparar as alternativas.

A nova DBO do esgoto tratado (efluente) foi calculada pelo rendimento da ETE e da DBO afluente, utilizando a Equação 20, do item 3.5.

Na sequência, a nova DBO do rio, após a autodepuração e no mesmo intervalo de tempo ora determinado, foi calculada utilizando-se as novas DBO e vazões afluentes.

Diante dos cálculos apresentados, foi calculada a variação da DBO em cada rio, adotando-se como valor da matriz *payoff* a maior variação entre todas as ETE.

### 3.11.6 Enquadramento Do Corpo Hídrico

O enquadramento de um corpo hídrico está regulado na CONAMA 357/2005. A classe varia de 1 a 4, tendo o menor número a melhor qualidade de água. Neste estudo foram utilizados os valores do enquadramento referentes a DBO e OD, conforme Tabela 33 e Tabela 35. Os demais parâmetros não foram objeto deste estudo.

Tabela 35- enquadramento dos rios segundo a CONAMA357

CLASSE	DBO (mg/L)	OD (mg/L)
1	Menor que 3	Maior que 6
2	Menor que 5	Maior que 5
3	Menor que 10	Maior que 4
4	Maior que 10	Maior que 2

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005)

O cálculo da DBO já foi objeto do critério anterior (3.11.5), sendo necessário apenas o cálculo do OD.

Para calcular o novo valor de OD, foi calculado o tempo<sup>11</sup> de autodepuração do corpo hídrico para atingir o valor limítrofe do enquadramento CONAMA. Após a aplicação de cada alternativa, calculou-se o novo valor de OD no mesmo tempo já calculado na situação inicial. A Equação 33 demonstra o processo para obtenção do tempo (t), via métodos numéricos computacionais, na condição inicial.

$$OD\ limite\left(\frac{mg}{L}\right) = C(t) = C_s - \left[ \frac{K1 \times L0}{K2 - K1} \times (e^{-K1 \times t} - e^{-K2 \times t}) + (C_s - C_0) \times e^{-K2 \times t} \right]$$

Equação 33

Com a variação da vazão e da DBO, os parâmetros K2 e L0 tem seu valor alterado. Assim, no mesmo tempo (t), calculou-se o novo valor de OD.

<sup>11</sup> O tempo de autodepuração do OD e da DBO são diferentes, tendo sido feito um cálculo para cada um

Diante dos novos valores de DBO e OD, foi possível determinar o novo enquadramento de cada corpo hídrico. O valor final da alternativa, a ser inserido na matriz *payoff*, corresponde a Equação 34.

$\text{Critério} = (\text{Qtd Rios Pioraram} + \frac{\text{Qtd Rios Melhoraram}}{10}) \times \text{Sinal}$ <p>Onde:</p> <p>Sinal será negativo (-1) caso haja rios que pioraram, senão positivo (1)</p>	Equação 34
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

## Lucro

O novo volume de água total faturado foi obtido pela soma do volume de água de todas as RA. Aplicando-se este valor na Equação 24, do item 3.8, estabeleceu-se o novo valor do lucro, que foi inserido na matriz *payoff*.

### 3.11.7 Economia Na Operação Da ETE

Com a implantação das alternativas de conservação de água, ocorrem variações na vazão e na concentração de DBO a montante de cada ETE. Assim, calculou-se a economia monetária em relação à operação, tanto pela vazão, quanto pela DBO, para cada ETE. As Equação 35 até a Equação 39 mostram a memória de cálculo. O custo unitário do tratamento foi obtido da bibliografia, conforme mostra a Tabela 36.

$\text{Economia água em } m^3 = \text{consumo inicial } (m^3) - \text{novo consumo } (m^3)$	Equação 35
$\text{EcoQ (R\$)} = \text{Economia água } (m^3) \times \text{custo tratamento } \left(\frac{R\$}{m^3}\right)$	Equação 36
$\text{DBO saída } \left(\frac{mg}{L}\right) = \text{DBO inicial } \left(\frac{mg}{L}\right) \times (1 - \text{eficiência ETE}^{12})$	Equação 37
$\text{Delta DBO } \left(\frac{mg}{L}\right) = \text{DBO saída inicial } \left(\frac{mg}{L}\right) - \text{DBO saída final } \left(\frac{mg}{L}\right)$	Equação 38

<sup>12</sup> Calculada para cada ETE

$$EcoDBO (R\$) = custoTrat \left( \frac{R\$}{kg} \right) \times \Delta DBO \left( \frac{mg}{L} \right) \times 10^{-3} \times Economia\ água (m^3)$$

Onde:

*EcoQ é a economia monetária oriunda da diferença de vazão*

*DeltaBDO é a variação da DBO*

*EcoDBO é a economia monetária oriunda da diferença da DBO no tratamento*

*Equação 39*

Tabela 36- Custos de operação das ETE do DF

ETE	Custo tratamento DBO (R\$/kg)	Custo tratamento esgoto (R\$/m³)
Brazlândia	0,59	0,3
Gama	3,4	1,08
Melchior	1,22	0,36
Brasília Norte	3,99	1,14
Paranoá	2,44	0,73
Planaltina	1,33	0,61
Recanto das Emas	2,34	1,2
Riacho Fundo	0,94	0,47
Samambaia	1,58	1,07
Santa Maria	1,17	0,57
São Sebastião	1,14	1,14
Sobradinho	4,95	2,23
Brasília Sul	2,42	0,72

Fonte: adaptado de CAESB (2018a) e ADASA (2017)

O valor final da alternativa inserido na matriz foi o maior dos custos calculados por EcoDBO e EcoQ, considerando a soma de todas as ETE, representado na Equação 40.

$$Economia\ final = maior\ valor\ entre \left( \sum \Delta EcoQ \ e \ \sum \Delta EcoDBO \right)$$

*Equação 40*

### 3.11.8 Variação Do Comprometimento Mensal Da Renda Familiar

O comprometimento da renda consiste na parcela do orçamento mensal que já está alocada para as obrigações principais. Neste caso, refere-se ao valor da fatura de água e esgoto perante a renda familiar. Contudo, com a implantação das alternativas de conservação de água, houve a variação do valor fatura de água e esgoto e o acréscimo do

custo de operação, dado pela Tabela 37. Essa mudança pode alterar o montante do comprometimento em alguns casos.

Assim, recalculou-se a fatura mensal de água e esgoto acrescentando o custo da operação da alternativa em questão. Calculou-se o comprometimento inicial e o novo, ou seja, após escolha de uma alternativa de conservação de água.

Tabela 37- custo de operação das alternativas de conservação de água (valor atual)

Renda	Alternativa	Economia de água (%)	Custo de operação (R\$/ano/moradia)
Média-baixa	Reúso de água com tonel	6,9	0,00
	Economizadores	64,7	16,18
	Economizadores	41,5	0,85
Média-alta	Chuva com cisterna de 1m <sup>3</sup>	0,7	0,97
	Reúso 3	26,7	54,81
	Chuva 1	11,0	39,06
Alta	Chuva 3	30,6	106,71
	Tonel Balde	9,5	0,00
	Irrigação subsuperficial	15,8	0,00
Baixa	Economizadores	39,5	39,14
	Economizadores	61,4	15,48
	Tonel Balde	6,8	0,00

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2011)

O valor deste critério foi determinado conforme Equação 41 a Equação 45, referindo-se ao endividamento para cada área da ETE e não RA.

$Fatura\ mensal\ (R\$) = Fatura\ água\ e\ esgoto\ (R\$) + custo\ de\ operação\ (R\$)$	Equação 41
$Comprometimento\ inicial\ (%) = \frac{fatura\ água\ e\ esgoto\ inicial\ (R\$) \times 100}{renda\ domiciliar\ (R\$)}$	Equação 42
$Comprometimento\ final\ (%) = \frac{fatura\ mensal\ (R\$)}{renda\ domiciliar\ (R\$)} \times 100$	Equação 43
$\Delta\ comprometimento\ RA(\%) = comprometimento\ final\ (%) - comprometimento\ inicial\ (%)$	Equação 44
$Critério = (Qtd\ ETE\ Comprometimento\ Piorou + \frac{Qtd\ ETE\ Comprometimento\ Melhorou}{10}) \times Sinal$	Equação 45
Onde:	

<i>Sinal será negativo (-1) caso haja algum comprometimento que piorou, senão positivo (1)</i>	
------------------------------------------------------------------------------------------------	--

### 3.12 TRIAGEM

Em virtude da grande quantidade de alternativas esperadas, buscou-se um modo de reduzir o seu número, evitando-se cálculos excessivos.

Considerando que este estudo busca alternativas de conservação de água, todas as alternativas que tiveram valores nulos foram descartadas por não cumprir o objetivo principal: minimizar o consumo de água.

Buscando a melhora da qualidade de vida global, para o homem e para o meio ambiente, todas as alternativas em que a qualidade do corpo hídrico piorou, a alternativa foi desprezada. Do mesmo modo, as alternativas que aumentaram o grau de comprometimento da renda mensal também foram desprezadas.

Buscando-se um investimento adequado e viável, utilizou-se um prazo máximo de *payback* com 30 anos. Este valor é oriundo na norma de desempenho (NBR 15575), onde foi estabelecido este valor para a vida média das instalações hidráulicas.

Em relação a concessionária, tratou-se a mesma sob a ótica de uma empresa, que necessita que seu balanço seja positivo a fim de que não entre em concordata. Diante disto, as alternativas que tinham balanços negativos foram desprezadas.

Em relação a variação da DBO no corpo hídrico, estimou-se como valor limite 1 mg/L em virtude deste valor ser suficiente para alterar um enquadramento, conforme a CONAMA 357.

### 3.13 MÉTODO MULTICRITÉRIO

Problemas resolvidos por diferentes métodos têm apresentado soluções distintas, o que é explicado pelas diferenças entre os algoritmos computacionais (Salomon & Montevechi, 2001). Esta pesquisa buscou ordenar as alternativas utilizando o método ELECTRE III (método de sobreclassificação) e o TOPSIS (Métodos de Proximidade Espacial). Cada um deles traz uma interpretação diferente da otimização de Pareto, sendo oriundos de escolas distintas, com diversas aplicações na área ambiental (Başdar & Alper, 2017).

Os dois métodos foram selecionados entre outros devido à sua simplicidade, facilidade de uso, disponibilidade de software e transparência. Em relação ao ELECTRE III, há o diferencial que ele permite eliminar alternativas e as ordenar. Em relação ao TOPSIS, há um aumento crescente no número de artigos publicado desde 2010 utilizando essa técnica, que utiliza valores numéricos absolutos manipulados por meio de cálculos embasados na lógica clássica, requerendo menor interação com o usuário e menor esforço computacional (Lima, 2013).

A escolha do modelo a ser aplicado depende da preferência do decisor (Moreira, 2007). Assim, conforme estudos de (Zanakis *et al.*, 1998) e (Salomon & Montevechi, 2001), o TOPSIS se comporta de forma parecida com o AHP e diferentemente do ELECTRE . Optou-se pelo ELECTRE, da escola francesa, por ter sido mais utilizado, possuir várias versões já evoluídas, demonstrar ser mais robusto e por existirem modelos computacionais disponíveis para uso. No caso da escola americana, os pesquisadores (Zanakis *et al.*, 1998) e (V. Salomon, E. Pamplona, 1999) ressaltaram que ambos os métodos possuem similaridades, mas o TOPSIS é mais simples computacionalmente, tem maior facilidade de uso pelo usuário, evita um número exagerado de comparações par-a-par (Wang *et al.*, 2010).

Para o ELECTRE III, utilizou-se a ordem de grandeza das alternativas, atendendo a razão entre preferência e indiferença de 3 e veto e preferência de 7. Os valores do limiar de preferência foram definidos respeitando-se as individualidades e valores absolutos de cada critério (Vianna, 2017).

A hierarquização inicial foi realizada com o uso do ELECTRE III, tendo a confirmação da ordem ratificada pela execução do TOPSIS.

### 3.14 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DO QUESTIONÁRIO

Os questionários aplicados precisavam possuir uma representatividade adequada frente a realidade populacional brasileira, hoje com 213 milhões de habitantes (IBGE, 2022). Utilizando o conceito do escore z, foi possível determinar o erro e a confiança da amostra utilizada, conforme Tabela 38.

Para fins de comparação, as pesquisas eleitorais utilizam a mesma metodologia acima, e tem uma boa margem de acerto e aceitação pela sociedade. Nela, são coletadas duas mil

amostras (neste caso opiniões de voto), conferindo uma margem de erro de 2%, num intervalo de confiança variando de 90% a 95%.

Por ocasião do encerramento do questionário, foi calculado a margem de erro e este valor aplicado no peso de cada critério, com valores maiores e menores, verificando a variabilidade da resposta em função da amostra coletada.

*Tabela 38-confiabilidade das amostras*

<b>GRAU DE CONFIANÇA (%)</b>	<b>MARGEM DE ERRO (%)</b>	<b>NÚMERO DE AMOSTRAS</b>
90	10	69
	9	85
	8	107
	7	139
	6	190
95	10	97
	9	119
	8	151
	7	196
99	11	138
	10	167
	9	206

### 3.15 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MMC

Finalizada a hierarquização, os pesos dos critérios foram alterados buscando verificar o comportamento do modelo. Para tanto, os pesos dos critérios tiveram seus valores variados numa faixa de 10%, para cima e para baixo. A resposta destas alterações foram analisadas no intuito de identificar mudanças na ordenação.

### 3.16 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo descreveu os métodos utilizados para atingir os objetivos propostos, em particular, o fluxograma do método e as etapas de cálculo. Em particular:

- Das formulações e cálculos necessários ao agrupamento das regiões administrativas em estações de tratamento de esgoto, por exemplo, população, consumo mensal, fatura de água e esgoto, entre outros;
- Dos critérios de comparação foram definidos conforme -critérios de comparação das alternativas, conforme Tabela 39;



Tabela 39-critérios de comparação das alternativas

ATOR	CRITÉRIO DE JULGAMENTO	UNIDADE	GRUPO DE CÁLCULO
SOCIEDADE	Investimento do cidadão	Milhões de reais	Soma das ETE
	<i>Payback</i> simples	Anos	Pior RA
	Vontade de implantar	%	Média ponderada das RA
MEIO AMBIENTE	Redução da exploração de RH	Milhões m <sup>3</sup>	Soma todas RA
	Enquadramento do corpo hídrico	*	Rio desague ETE
	DBO no corpo hídrico	mg/L	Maior aumento DBO rio desague ETE
EMPRESA DE SANEAMENTO	Balanço final	Milhões de reais por ano	Global
	Custo do tratamento	Milhares de reais por ano	ETE
GOVERNO	Comprometimento da renda familiar	*	ETE

Onde \* representa um par ordenado (a,b) de tal forma que “a” representa a quantidade de critérios que piora e “b” a quantidade de critérios que melhora. Sempre que houve critérios que pioram, o sinal será negativo

- Os elementos de triagem foram definidos conforme Tabela 40;

Tabela 40-critérios de triagem

ATOR	CRITÉRIO DE JULGAMENTO	TRIAGEM
SOCIEDADE	Investimento do cidadão	-----
	<i>Payback</i> simples	≤30 anos
	Vontade de implantar	-----
MEIO AMBIENTE	Redução da exploração de RH	≥0,1m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> /mês
	Enquadramento do corpo hídrico	Não pode piorar enquadramento de nenhum corpo hídrico
	DBO no corpo hídrico	≤DBO original
EMPRESA DE SANEAMENTO	Balanço final	>0
	Custo do tratamento	-----
GOVERNO	Comprometimento da renda familiar	Não pode piorar comprometimento da renda de nenhuma região administrativa

- As alternativas propostas estão resumidas na Tabela 41;

Tabela 41-resumo das alternativas

Alternativa	EEA	AAC	RAC	Grupo de aplicação
1				Referencial
2	x			Área residencial
3		x		Área residencial
4			x	Área residencial
5	x			Classe alta
6		x		Classe alta
7			x	Classe alta
8	x			Classe média-alta
9		x		Classe média-alta
10			x	Classe média-alta
11	x			Classe média-baixa
12		x		Classe média-baixa
13			x	Classe média-baixa
14	x			Classe baixa
15		x		Classe baixa
16			x	Classe baixa
17	x			Intervalo populacional com 95% de confiança
18		x		Intervalo populacional com 95% de confiança
19			x	Intervalo populacional com 95% de confiança
20	x			Fora do intervalo populacional com 95% de confiança
21		x		Fora do intervalo populacional com 95% de confiança
22			x	Fora do intervalo populacional com 95% de confiança
23	x			Intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
24		x		Intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
25			x	Intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
26	x			Fora do intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
27		x		Fora do intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
28			x	Fora do intervalo do consumo domiciliar com 95% de confiança
29	x			Intervalo do consumo mensal com 95% de confiança
30		x		Intervalo do consumo mensal com 95% de confiança
31			x	Intervalo do consumo mensal com 95% de confiança
32	x			Fora do intervalo do consumo mensal com 95% de confiança
33		x		Fora do intervalo do consumo mensal com 95% de confiança
34			x	Fora do intervalo do consumo mensal com 95% de confiança

- A eficiência de cada ETE teve um modelo desenvolvido em função da variação da vazão e da DBO de entrada, o que afeta seu rendimento, alterando a qualidade dos efluentes despejados no rio;
- Um modelo de equação de receita e despesas da concessionária local foi desenvolvido possibilitando inferir o lucro/prejuízo em função do volume de água faturado;

## 4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia proposta e comenta a singularidade da solução ótima e a eliminação das cinco últimas alternativas como solução. Para tanto, este capítulo foi dividido em seis partes: cálculo dos dados das RA, exposição e comentários relativos aos resultados dos questionários aplicados, o valor das matrizes *pay-off* da simulação de cada alternativa, a triagem das alternativas, a comparação das alternativas não rejeitadas pelos MMC (ELECTRE III e TOPSIS) e o teste de sensibilidade dos modelos.

### 4.1 DADOS DAS RA

Diante da revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior, obteve-se a Tabela 42 com os dados referentes as características de cada Região Administrativa do Distrito Federal. Os maiores consumos *per capita* estão no Lago Sul, Plano Piloto, Lago Norte e ParkWay. Porém, em virtude da população, o consumo mensal de cada RA não atende a mesma ordenação.

Combinando-se o consumo *per capita*, número de domicílios e pessoas por domicílio, foi possível determinar os dados de consumo e a fatura de cada domicílio, conforme Tabela 43. Os maiores consumos totais são no Plano Piloto, Ceilândia, Taguatinga e Samambaia. Já os maiores consumos domiciliares são no Lago Sul, ParkWay, Plano Piloto e Lago Norte.

Tabela 42-dados das RA – parte bibliográfica

<b>Renda</b>	<b>Região Administrativa</b>	<b>Renda Domiciliar Média (R\$)</b>	<b>Nº de Domicílios</b>	<b>Consumo per capita (L/hab/dia)*</b>	<b>População</b>
Média alta	Águas Claras	14.056,73	52.014	131	120.107
Média baixa	Brazlândia	3.425,65	15.408	113	55.879
Média baixa	Candangolândia	5.612,47	4.703	128	16.339
Média baixa	Ceilândia	4.491,07	110.111	106	350.347
Média alta	Cruzeiro	9.858,61	11.323	142	30.860
Baixa	Fercal	2.186,10	1.848	94	9.388
Média baixa	Gama	5.034,37	46.819	120	137.331
Média alta	Guará	7.978,96	47.060	132	142.083
Média baixa	Itapoã	2.475,22	17.168	108	65.373
Alta	Jardim Botânico	14.908,43	21.237	218	53.045
Alta	Lago Norte	15.390,62	13.897	214	37.539
Alta	Lago Sul	31.322,91	9.018	352	30.446
Média alta	Núcleo Bandeirante	5.486,03	8.308	126	24.093
Média baixa	Paranoá	2.843,63	20.969	106	69.858
Alta	Park Way	18.138,22	6.098	213	23.081
Média baixa	Planaltina	3.114,17	49.852	115	186.498
Alta	Plano Piloto	14.087,08	91.294	217	224.848
Média baixa	Recanto das Emas	3.226,29	36.420	114	133.564
Média baixa	Riacho Fundo	5.101,61	12.667	118	44.464
Média baixa	Riacho Fundo II	3.863,50	16.722	107	72.988
Média alta	S I A	5.998,42	905	101	1.737
Média baixa	Samambaia	4.128,25	68.788	111	247.629
Média baixa	Santa Maria	3.813,85	38.190	131	130.970
Média baixa	São Sebastião	2.649,47	31.776	101	118.972
Baixa	SCIA - Estrutural	2.014,03	10.640	128	37.527
Média alta	Sobradinho	6.010,84	23.131	133	73.438
Média alta	Sobradinho II	3.808,85	25.951	118	78.837
Alta	Sudoeste/Octogonal	14.908,43	23.546	140	55.366
Média alta	Taguatinga	5.816,33	76.553	130	210.498
Baixa	Varjão	2.907,20	2.497	106	8.953
Média alta	Vicente Pires	7.775,30	25.292	145	78.561

Fonte(CODEPLAN, 2022);(ADASA, 2022)\*

Tabela 43-dados das RA – parte calculada

Região Administrativa	Demanda de água (m³/mês)	Média de pessoas por domicílio	Consumo residencial médio (m³/mês)	Fatura de água e esgoto domiciliar média (R\$)
Águas Claras	910.352	3	19	193,16
Brazlândia	223.845	3	15	136,36
Candangolândia	79.769	3	17	164,76
Ceilândia	2.043.577	3	15	136,36
Cruzeiro	171.008	3	18	178,96
Fercal	39.782	4	18	178,96
Gama	687.989	3	17	164,76
Guará	815.007	3	18	178,96
Itapoã	266.262	4	15	136,36
Jardim Botânico	206.454	3	26	349,52
Lago Norte	364.668	3	31	507,24
Lago Sul	446.018	3	48	1.182,42
Núcleo Bandeirante	142.786	3	18	178,96
Paranoá	199.689	4	16	150,56
Park Way	194.862	3	33	575,44
Planaltina	811.509	3	15	136,36
Plano Piloto	2.533.408	3	32	541,34
Recanto das Emas	564.119	4	13	100,94
Riacho Fundo	198.485	3	15	136,36
Riacho Fundo II	218.729	3	15	136,36
S I A	6.030	4	11	86,58
Samambaia	1.116.534	4	16	150,56
Santa Maria	568.782	4	16	150,56
São Sebastião	352.319	3	12	93,76
SCIA - Estrutural	140.650	4	14	122,16
Sobradinho	323.857	3	17	164,76
Sobradinho II	425.889	3	15	136,36
Sudoeste/Octogonal	453.065	2	20	207,36
Taguatinga	1.273.327	3	20	207,36
Varjão	26.373	4	12	93,76
Vicente Pires	384.030	4	19	193,16

Diante das Tabela 42 e 45, todas as RA puderam ser agrupadas conforme as suas ETE de operação, produzindo a Tabela 44, com suas características já calculadas. As ETE com maior volume de efluentes tratados são Melchior, Norte, Sul e Samambaia.

Tabela 44- Caracterização das ETE agrupadas

ETE	Renda domiciliar média (R\$)	Domicílios	População	Consumo mensal médio por residência (m³/mês)	Efluentes tratados (m³/mês)	Fatura de água e esgoto domiciliar média (R\$)
Brazlândia	3.418,65	15.376	51.816	15	230.640	136,36
Gama	4.541,79	41.175	134.111	17	699.975	164,76
Melchior	4.340,72	224.409	759.491	16	3.590.544	150,56
Brasília Norte	11.102,54	103.409	293.343	30	3.102.270	434,8
Paranoá	2.642,01	30.083	112.213	15	451.245	136,36
Planaltina	3.359,22	54.595	190.495	15	818.925	136,36
Recanto das Emas	2.957,50	56.922	198.615	14	796.908	122,16
Samambaia	3.465,87	69.648	258.457	16	1.114.368	150,56
Santa Maria	3.267,50	34.685	125.559	16	554.960	150,56
São Sebastião	2.171,93	39.076	298.141	15	586.140	136,36
Sobradinho	5.750,87	48.186	163.446	16	770.976	150,56
Riacho Fundo	4.868,09	12.994	40.098	15	194.910	136,36
Brasília Sul	13.079,83	115.330	336.712	20	2.306.600	207,36

Na pesquisa da eficiência de cada ETE, os valores da Tabela 26 foram tratados segundo uma regressão linear múltipla (com a forma  $Y=\alpha+\beta_1X_1+\beta_2X_2$ ) independente para cada ETE, obtendo-se a Equação 46 geral, que produziu os coeficientes da Tabela 45. O apêndice A mostra os dados de origem a aplicação da equação.

$\text{rendimento}^2 = A + \frac{B}{\text{vazão}^2} + \frac{C}{\text{DBO}^2}, \text{ onde } A, B \text{ e } C \text{ são constantes}$ <p>Onde:</p> <p>DBO em mg/L</p> <p>Vazão em m<sup>3</sup>/mês</p> <p>Rendimento em %</p>	Equação 46
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Tabela 45- Equação da eficiência de cada ETE

ETE	R <sup>2</sup>	A	B	C
Brazlândia	0,9324	7457,32	$1,19 \times 10^{13}$	-133131974,4
Gama	0,9168	9713,78	$5,73 \times 10^{13}$	-35647145,93
Melchior	0,8295	10753,63	$-1,03 \times 10^{16}$	-23900899
Brasília Norte	0,9973	12133,85	$-3,73 \times 10^{15}$	-43704495,57
Paranoá	0,8970	11518,92	$-1,59 \times 10^{14}$	-1013446243
Planaltina	0,8925	10573,46	$-2,02 \times 10^{14}$	7452557,79
Recanto das Emas	0,8109	8770,11	$1,72 \times 10^{14}$	-421273347,7
Samambaia	0,8429	9698,30	$9,88 \times 10^{13}$	-39318034,83
Santa Maria	0,8299	10089,60	$-5,24 \times 10^{12}$	-17097414,1
São Sebastião	0,9759	7785,59	$-1,4 \times 10^{14}$	502670623,2
Sobradinho	0,9722	98,13	$-8,17 \times 10^{10}$	-1761011,29
Riacho Fundo	0,8796	9864,77	$1,27 \times 10^{11}$	53107063,85
Brasília Sul	0,8865	5018,92	$1,63 \times 10^{16}$	169547038,3

## 4.2 RESULTADO DO QUESTIONÁRIO E DETERMINAÇÃO DOS PESOS

No primeiro questionário, foram enviados 1539 convites por e-mail, sendo apenas 165 preenchidos completamente. O foco foi as pessoas da área acadêmica ou que atuassem na área de conservação de água ou similar. O tempo de resposta médio foi de 15 minutos, enquanto a mediana foi de 6 minutos. O questionário teve a política de manter os entrevistados anônimos, entretanto, o programa possibilita a remoção de respostas de um entrevistador sob um filtro desejado. Para este número de respostas recebidas (165), o erro da amostra num grau de confiança de 99 % foi de 11%.

A primeira pergunta avaliou a formação de cada um, tendo resultado de 54% sendo doutores, 20% mestres e 18% pós-graduados. Com um valor de 74% com relação direta com a academia, as respostas a seguir puderam ser validadas.

Na pergunta da importância da redução da exploração dos recursos hídricos, 75% citaram que era muito importante e 22% que era importante, ficando um acumulado de 97%. Esta resposta comprova a necessidade de estudos sobre o tema.

Para a pergunta da variação da DBO de um corpo hídrico, 75% consideraram muito importante e 15% importante. Assim, 90% do público está preocupado com a qualidade dos rios. No mesmo diapasão, foi manifestada preocupação quanto a mudança de enquadramento de um corpo hídrico por 75% do público.

Quanto a variação do custo de tratamento do esgoto numa ETE, 62% afirmaram ser muito importante e 26% importante, acumulando 88% do total, respondendo pela relevância da questão.

Quanto a variação do lucro da concessionária, 35,7% acharam importante o reequilíbrio, 35,1% acharam muito importante e quase 25% não deram importância.

No segundo questionário, o site foi enviado via aplicativos de mensagens instantâneas, sem controle de número de divulgações e buscando a população em geral, sem pessoas especialistas no tema. Foram preenchidos 142 questionários completos, com média de tempo de resposta de 3 minutos e mediana de 2 minutos. Do mesmo modo que o anterior, a política de não identificar o entrevistado foi mantida. Foi identificado que 19 mestres e 6 doutores responderam este questionário. Diante do foco em pessoas não especialistas, estas 25 respostas foram descartadas conforme formação, sem comprovação de atuação na área. Dos dados coletados com o questionário, obteve-se os pesos conforme Tabela 47. Para este número de respostas recebidas, o erro foi de 11% para o grau de confiança de 99 %.

A renda familiar variou conforme Figura 25, mostrando a predominância na faixa de renda de dez mil reais a vinte mil reais, configurando um público de renda alta.

Quando indagados sobre a pergunta de maior importância, relevância, as respostas que lhes foram mais pertinentes para a implantação de um sistema de conservação de água, estão na Tabela 46.

Tabela 46-resposta da pergunta três do segundo questionário

PERGUNTAS	POSIÇÃO / VOTOS(%)					
	1	2	3	4	5	6
Quanto vou gastar para instalar?	40,14	23,94	11,27	8,45	3,52	3,52
Vai modificar o valor da minha conta de água?	11,97	18,31	24,65	13,38	8,45	2,82
Em quanto tempo recupero meu dinheiro?	8,45	16,9	21,83	14,08	11,27	10,56
Quero experimentar estas alternativas? Estou disposto a inovar?	13,38	5,63	11,27	15,49	12,68	17,61
Vai diminuir o consumo de água no Planeta?	11,97	16,2	9,15	9,86	11,97	17,61
Vai melhorar a qualidade de água nos rios?	11,27	15,49	13,38	14,79	19,72	10,56

Quanto a primeira pergunta a ser lembrada pelo público, nota-se que a componente relativa ao investimento tem uma preponderância, não só em relação a primeira resposta, quanto ao valor, sendo a maior de toda a questão. Em segundo lugar surge a vontade de querer experimentar uma tecnologia nova, praticamente empatado com a modificação do valor da conta de água, a diminuição do consumo de água no Planeta e a melhoria da qualidade de água nos rios. O retorno do investimento aparece na última posição e não possui liderança nas outras perguntas, significando que a população entende que não é um investimento para retorno e sim uma despesa.

Na segunda pergunta, pode se dizer que não houve uma definição entre a preocupação do valor da conta de água, em quanto tempo recuperará o dinheiro e a melhoria de qualidade na água nos rios, visto que esta diferença não supera os 3%. Entretanto, em termos absolutos, a preocupação com o valor da conta de água foi a pergunta que se destacou. Tal fato mais uma vez demonstra a importância do quesito monetário.

Na terceira posição tem-se, novamente e como continuação, uma preocupação monetária. A preocupação na recuperação do capital investido tem destaque com 21%. Entre as três primeiras perguntas, houve uma preponderância do quesito monetário.

Na quarta posição, há um empate entre as alternativas de querer melhorar a qualidade dos rios e querer experimentar a tecnologia nova, com menos de 1% de diferença entre os dois. A quinta pergunta, com 19% dos votos, tem a preocupação com a qualidade dos rios vencendo. Assim, pode-se inferir que a quarta posição seria experimentar a tecnologia.



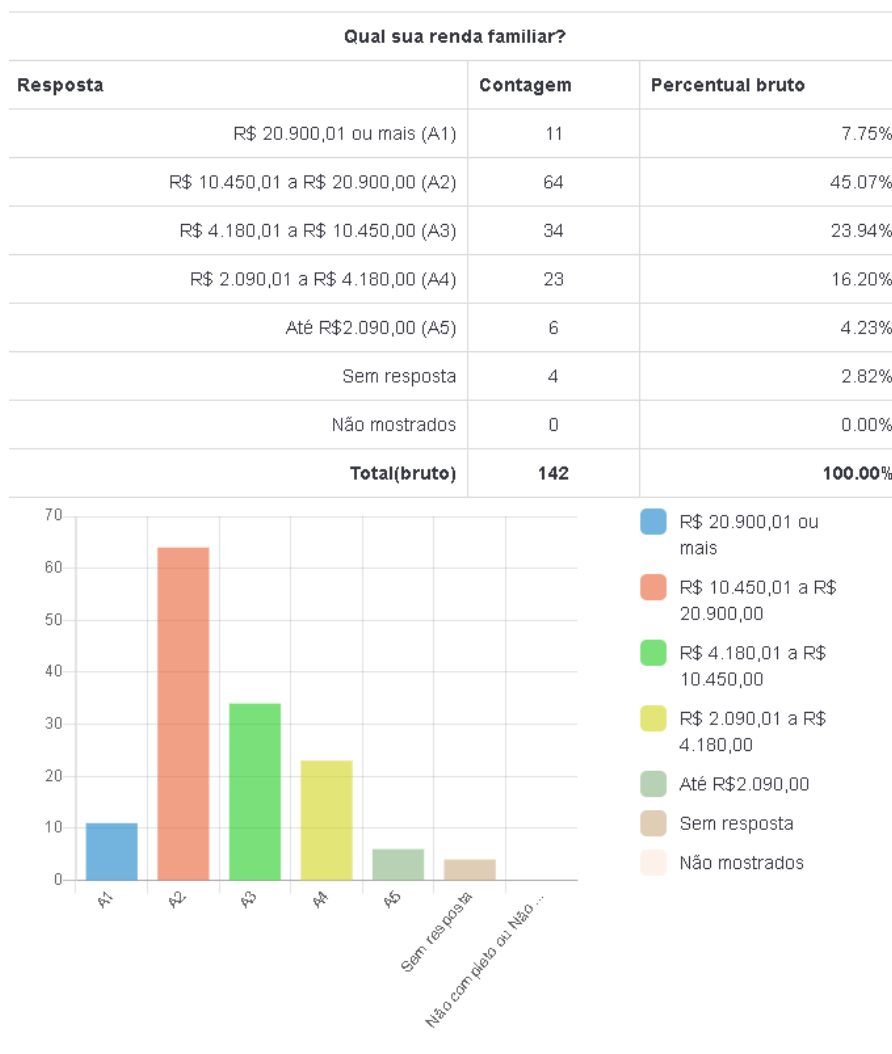


Figura 25-Questão sobre renda familiar

Por último, vem a preocupação com a diminuição do consumo de água no planeta, mostrando que a população ainda não tem conscientização sobre a importância do tema. Este aspecto ressalta a necessidade de campanhas educacionais urgentes.

Tabela 47-pesos dos objetivos e critérios, incluindo todos os questionários

ATOR	CRITÉRIO DE JULGAMENTO	Peso Especialista	Peso Sociedade	Peso final
SOCIEDADE	Investimento do cidadão	-	4,87	4,87
	Payback simples	4,42	3,53	3,98
	Vontade de implantar	-	3,16	3,16
MEIO AMBIENTE	Redução da exploração de RH	4,71	3,41	4,06
	Enquadramento do corpo hídrico	-	3,1	3,10
	DBO no corpo hídrico	4,53	-	4,53
EMPRESA DE SANEAMENTO	Balanço final	3,84	-	3,84
	Custo do tratamento	4,43	-	4,43
GOVERNO	Comprometimento da renda familiar	4,79	4,09	4,44

Na comparação entre os resultados dos pesos entre especialistas e sociedade, nota-se uma diferença de pesos no *payback* simples e na redução da exploração dos recursos hídricos. No primeiro, esta diferença é de 20%, no segundo é de 28% e por último é de 15%.

A maior diferença surge na preocupação com a quantidade de água consumida no Planeta tendo relação direta com o nível de conhecimento de educação ambiental e com as próximas gerações. Este valor ratifica a necessidade de campanhas educacionais em massa, criando uma preocupação com o Planeta.

Quanto ao *payback* simples, existe uma diferença de interpretação do problema: a sociedade entende o investimento em conservação de água como gasto, enquanto os especialistas em investimento. Com as campanhas educacionais, mostrando a diminuição da fatura de água e a preocupação com o Planeta e as gerações futuras, a sociedade mudaria o ponto de vista.

Diante dos resultados mostrados, os pesos foram padronizados de modo que a soma do peso final fosse 100, facilitando a compreensão e a comparação visual, conforme Tabela 48.

*Tabela 48-pesos dos objetivos e critérios homogeneizados*

ATOR	CRITÉRIO DE JULGAMENTO	PESO DO OBJETIVO	PESO
SOCIEDADE	Investimento do cidadão	32,98	13,38
	<i>Payback</i> simples		10,92
	Vontade de implantar		8,68
MEIO AMBIENTE	Redução da exploração de RH	32,11	11,15
	Enquadramento do corpo hídrico		8,52
	DBO no corpo hídrico		12,44
EMPRESA DE SANEAMENTO	Balanço final	22,72	10,55
	Custo do tratamento		12,17
GOVERNO	Comprometimento da renda familiar	12,20	12,20

#### 4.3 ALTERNATIVAS

As diversas alternativas tiveram os valores de seus critérios calculados conforme metodologia e comparados entre si. As soluções foram divididas em grupos para melhor compreensão, conforme item 3.9. Denominaram-se as alternativas REJEITADAS de RJT e as APROVADAS de AP. Os critérios que foram rejeitados foram destacados em cinza.

### 4.3.1 Global Única

Esta solução consistiu em aplicar as soluções de conservação de água em todas as ETE, sem qualquer filtro ou critério de alocação. A aplicação da metodologia nas alternativas já citadas produziu a Tabela 49, com os resultados da aplicação de todas as alternativas de conservação de água no DF, como um todo. A alternativa referencial foi utilizada apenas para comparar a situação atual com cada alternativa, não sendo utilizada como solução, já que o intuito deste estudo é avaliar a conservação de água. Assim, esta alternativa foi descartada como uma resposta/ação válida. A alternativa de EEA tem sua ordenação prejudicada pois a concessionária fica com faturamento negativo devido à grande redução no consumo, desproporcional a capacidade operacional instalada. Além disto, as três alternativas (EEA, AAC e RAC) foram rejeitadas pois pioram o enquadramento do Ribeirão da Papuda e as demais por terem o *payback* maior que 30 anos.

Tabela 49- Matriz pay-off aplicada a todas as ETE

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS			
	1 (Referencial)	2 (EEA)	3 (AAC)	4 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	0,0	8.315	564	1.776
<i>Payback</i> simples (anos)	0,0	50,6	62,4	98,0
Vontade de implantar	100,0	79,9	84,9	84,9
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	0,0	2,7	0,3	1,4
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	66,1	5,6	0,2	1,3
Varição no enquadramento do rio	0,1	-1,1	-1,1	-1,1
Lucro (milhões R\$)	401,6	Prejuízo	380,8	291,1
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	0,0	2.198	315	1.118
Varição do comprometimento da renda	0,0	0,13	0,4	0,12
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT	RJT

### 4.3.2 Por Faixa de renda

Esta solução consistiu em aplicar as soluções de conservação de água para cada faixa de renda nas regiões administrativas que contribuem para cada ETE.

#### 4.3.2.1 Classe alta

A Tabela 50 exibe os resultados das alternativas aplicadas apenas às RA de classe alta. Note que todas as alternativas foram desprezadas devido aos critérios da triagem para *payback*. As alternativas EEA, AAC e a RAC pioram o enquadramento do Ribeirão da Papuda.

Tabela 50- Matriz pay-off aplicada as RA de classe alta apenas

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	5 (EEA)	6 (AAC)	7 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.027	405	1.161
<i>Payback</i> simples (anos)	50,6	62,4	49,0
Vontade de implantar	97,0	97,7	97,7
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,1	0,4	0,5
Variação da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,4	0,2	0,6
Variação no enquadramento do rio	-1,1	-1,1	-1,1
Lucro (milhões R\$)	341,2	382,8	377,6
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.006	291	418
Variação do comprometimento da renda	0,3	0,3	0,3
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT

#### 4.3.2.2 Classe média-alta

A Tabela 51 exibe os valores da matriz *pay-off* aplicadas a classe média-alta. Note que todas as alternativas foram rejeitadas em função do *payback*. A AAC não tem efeitos na redução da exploração dos recursos hídricos.

Tabela 51- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-alta apenas

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	8 (EEA)	9 (AAC)	10 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.069	155	515
<i>Payback</i> simples (anos)	71,9	62,0	98,0
Vontade de implantar	96,3	95,0	95,0
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,1	0,0	0,8
Variação da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,3	0,0	0,2
Variação no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	343,1	401,6	363,3
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	782	47	429
Variação do comprometimento da renda	0,3	0,0	0,3
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT

#### 4.3.2.3 Classe média-baixa

A Tabela 52 exibe os valores das alternativas para a classe média-baixa. O EEA possui um *payback* muito elevado e, piora o enquadramento de um dos rios, apesar de melhorar o Vargem da Benção. O AAC não possui redução expressiva na exploração dos recursos hídricos. A alternativas RAC atende todos os critérios de triagem.

Tabela 52- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-baixa apenas

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	11 (EEA)	12 (AAC)	13 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	4.107	4	98
Payback simples (anos)	46,4	1	2,0
Vontade de implantar	83,7	89,2	89,2
Redução da exploração de RH (milhões m³/mês)	2,1	0,0	0,6
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,6	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	-1,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	259,4	399,9	374,1
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.730	7	482
Varição do comprometimento da renda	0,1	0,1	0,7
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP

#### 4.3.2.4 Classe Baixa

A Tabela 53 exhibe os valores para a classe baixa. O EEA, AAC e o RAC não possuem redução expressiva na exploração dos recursos hídricos.

Tabela 53- Matriz pay-off aplicada as RA de classe baixa apenas

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	14 (EEA)	15 (AAC)	16 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	112	0	2
Payback simples (anos)	22,9	0,0	1,8
Vontade de implantar	98,1	98,1	98,1
Redução da exploração de RH (milhões m³/mês)	0,1	0,0	0,1
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,0	0,0	0,0
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	397,1	401,6	397,1
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	84	0	14
Varição do comprometimento da renda	0,1	0,0	0,1
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT

#### 4.3.3 Não usuais

##### 4.3.3.1 População

Considerando-se as populações de cada RA, calculou-se a média (92.600 habitantes) e o intervalo de confiança (37.773 habitantes). Assim, determinou-se as RA das alternativas conforme Tabela 54.

Tabela 54- Alternativas não usuais para população por RA

No intervalo de confiança (17, 18, 19)	Acima do intervalo de confiança (20, 21, 22)
Águas Claras	Plano Piloto
Brazlândia	Gama
Itapoã	Guará
Paranoá	Taguatinga
Riacho Fundo II	Ceilândia
São Sebastião	Planaltina
Sobradinho	Recanto das Emas
Sobradinho II	Samambaia
Sudoeste/Octogonal	Santa Maria
Vicente Pires	

A Tabela 55 exibe os valores dos critérios para as alternativas relativas aos intervalos de confiança e acima dele. Todas as alternativas que estão no intervalo de confiança possuem um *payback* muito elevado. O EEA piora o enquadramento de um dos rios. O AAC não possui redução expressiva na exploração dos recursos hídricos.

Nas alternativas acima do intervalo de confiança tem-se que o EEA ultrapassa o limite do *payback* aceitável. As demais foram aprovadas e serão hierarquizadas.

Tabela 55- Matriz pay-off aplicada as análises populacionais

CRITÉRIO	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	NO INTERVALO DE CONFIANÇA			ACIMA DO INTERVALO DE CONFIANÇA		
	17 (EEA)	18 (AAC)	19 (RAC)	20 (EEA)	21 (AAC)	22 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.228	213	641	5.228	245	815
<i>Payback</i> simples (anos)	71,9	62,4	98,0	46,4	9,8	16,5
Vontade de implantar	93,3	94,9	94,9	85,9	89,4	89,4
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,2	0,1	0,5	2,8	0,2	1,1
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,6	0,0	0,0	1,2	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	-1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	339,0	396,6	379,2	133,6	390,6	341,4
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	969	59	300	2.017	192	751
Varição do comprometimento da renda	0,70	0,10	0,50	0,80	0,20	0,60
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT	RJT	AP	AP

#### 4.3.3.2 Consumo domiciliar

Considerando-se os consumos domiciliares de cada RA, calculou-se a média (18,8 m<sup>3</sup>) e o intervalo de confiança (3,5m<sup>3</sup>). Assim, determinou-se as RA das alternativas conforme Tabela 56.

Assim, a Tabela 57 exibe os valores para as alternativas relacionadas ao consumo domiciliar. Note que as alternativas 23, 26, 27 e 28 foram desprezadas por não atenderem aos critérios mínimos da triagem no critério *payback*.

Nas alternativas que estão no intervalo de confiança tem-se que a 24 (AAC) não consegue reduzir a exploração dos recursos hídricos.

Tabela 56- Alternativas não usuais para os consumos domiciliares por RA

No intervalo de confiança (23, 24, 25)	Acima do intervalo de confiança (26, 27, 28)
Candangolândia	Gama
Cruzeiro	Jardim Botânico
Guará	Lago Norte
Núcleo Bandeirante	Lago Sul
Riacho Fundo	Park Way
Sobradinho	Plano Piloto
Vicente Pires	Taguatinga
Fercal	Paranoá
Itapoã	Sobradinho II
SCIA - Estrutural	Águas Claras
Brazlândia	
Planaltina	
Recanto das Emas	
Riacho Fundo II	
Samambaia	
Santa Maria	
São Sebastião	
Varjão	

Nas alternativas fora do intervalo de confiança tem-se que o EEA, AAC e o RAC pioram o enquadramento do Ribeirão da Papuda, apesar de melhorar de outro.

Tabela 57- Matriz pay-off aplicada as análises de consumo domiciliar

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	23 (EEA)	24 (AAC)	25 (RAC)	26 (EEA)	27 (AAC)	28 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	3.214	8	113	3.477	489	1.451
Payback simples (anos)	28,1	1	2,9	71,9	62,0	98,0
Vontade de implantar	87,1	90,1	90,1	94,8	95,1	95,1
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	2,1	0,0	0,8	2,1	0,5	0,9
Variação da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,8	0,0	0,2	2,4	0,2	0,6
Variação no enquadramento do rio	-1,1	0,1	0,1	-1,1	-1,1	-1,1
Lucro (milhões R\$)	256,3	401,6	362,1	256,6	380,8	354,0
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.753	10	588	1.590	316	700
Variação do comprometimento da renda	0,12	0,0	0,9	0,7	0,4	0,6
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP	RJT	RJT	RJT

#### 4.3.3.3 Consumo mensal

Considerando-se os consumos totais mensais de cada RA, calculou-se a média (522.231 m<sup>3</sup>/mês) e o intervalo de confiança (264.097 m<sup>3</sup>/mês). Assim, determinou-se as RA das alternativas conforme Tabela 58.

Tabela 58- Alternativas não usuais para os consumos mensais por RA

No intervalo de confiança (29, 30, 31)	Acima do intervalo de confiança (32, 33, 34)
Gama	Ceilândia
Vicente Pires	Taguatinga
Lago Norte	Plano Piloto
Itapoã	Planaltina
Recanto das Emas	Samambaia
Santa Maria	Águas Claras
São Sebastião	
Sobradinho	
Sobradinho II	
Lago Sul	
Sudoeste/Octogonal	

Assim, a Tabela 59 exibe os valores para as alternativas relacionadas ao consumo domiciliar. Todas as alternativas foram desprezadas por não atenderem aos critérios mínimos da triagem em relação ao *payback* elevado. O EEA piora o enquadramento do rio, enquanto o AAC não tem capacidade de promover a redução da exploração dos RH.

Tabela 59- Matriz pay-off aplicada as análises do consumo mensal por RA

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	NO INTERVALO DE CONFIANÇA			ACIMA DO INTERVALO DE CONFIANÇA		
	29 (EEA)	30 (AAC)	31 (RAC)	32 (EEA)	33 (AAC)	34 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.465	134	440	4.748	383	1.163
<i>Payback</i> simples (anos)	50,6	62,0	49,0	71,9	62,0	98
Vontade de implantar	92,0	94,7	93,3	89,2	92,7	92,7
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,6	0,1	0,8	2,2	0,2	0,9
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,6	0,0	0,2	0,5	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	-1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	308,8	395,3	363,7	236,4	392,5	354,2
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.347	81	494	1.342	223	478
Varição do comprometimento da renda	0,90	0,2	0,70	0,5	0,1	0,4
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT	RJT	RJT	RJT

#### 4.3.4 Identificação de soluções factíveis

Diante da análise das alternativas, nota-se que algumas RA possuem *payback* acima dos 30 anos: no uso dos EEA tem-se Ceilândia (classe média-baixa), Sobradinho II (classe média-alta), Águas Claras (classe média-alta) e Sudoeste/Octogonal (classe alta), enquanto no uso do AAC e RAC tem-se Águas Claras e Sudoeste/Octogonal. Assim, estas RA foram excluídas de todo o processo de busca por uma solução.



Em todas as alternativas simuladas, a ETE de São Sebastião também contribuiu para a triagem de várias alternativas no critério enquadramento. A ETE em questão é formada pela RA de São Sebastião (classe média-baixa), Jardim Botânico (classe alta) e Fercal (classe baixa). Assim, recalculou-se diversas alternativas, a iniciar pela aplicação das medidas na classe média-baixa.

As Tabela 60 a Tabela 68 mostram os novos resultados, realizados segundo mesma metodologia já adotada. Na tabela 62, todas foram rejeitadas devido a piora do enquadramento dos rios. O AAC também piorou o comprometimento da renda.

*Tabela 60- Matriz pay-off aplicada as RA de classe alta*

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	35 (EEA)	36 (AAC)	37 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	1.695	339	970
Payback simples (anos)	13,8	9,8	16,5
Vontade de implantar	97,2	97,8	97,8
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,0	0,3	0,5
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,4	0,2	0,6
Varição no enquadramento do rio	-1,1	-1,1	-1,1
Lucro (milhões R\$)	348,8	388,4	377,6
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	942	273	392
Varição do comprometimento da renda	0,3	-1,2	0,3
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	RJT

As alternativas referentes a aplicação nas RA de classe alta mostram uma piora na variação do enquadramento do Ribeirão da Papuda, ficando similar as alternativas similares de classe alta. A exceção ocorre na AAC por um ligeiro aumento do comprometimento de renda na ETE Brasília Sul.

*Tabela 61- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-alta*

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	38 (EEA)	39 (AAC)	40 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	1.082	11	100
Payback simples (anos)	20,4	0,0	5,0
Vontade de implantar	97,5	95,6	95,6
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	0,9	0,0	0,7
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,3	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	356,5	401,6	366,1
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	529	9	353
Varição do comprometimento da renda	0,3	0,0	0,3
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	AP	RJT	AP

O novo cálculo para as RA de classe média-alta possibilitou a aprovação da alternativa 38 (EEA) e 40 (RAC), não havendo modificação na alternativa 39, conforme pode ser

visto na Tabela 61. Ela não possui redução significativa na exploração da redução dos recursos hídricos.

*Tabela 62- Matriz pay-off aplicada as RA de classe média-baixa*

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS		
	41 (EEA)	42 (AAC)	43 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.553	4	72
<i>Payback</i> simples (anos)	28,1	0,8	2,0
Vontade de implantar	88,3	91,7	91,7
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,4	0,0	0,4
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	1,2	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	318,7	399,9	385,5
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.494	7	440
Varição do comprometimento da renda	0,80	0,10	0,60
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP

Da Tabela 62, a alternativa EEA foi rejeitada devido ao alto valor da variação de DBO, enquanto a AAC foi rejeitada pela baixa redução da exploração dos RH.

Para as próximas alternativas, houve a exclusão das RA de Ceilândia (classe média-baixa), Sobradinho II (classe média-alta), Águas Claras (classe média-alta) e Sudoeste/Octogonal, todas da Tabela 55, produzindo a Tabela 63. Tal fato possibilitou a simulação com mais seis alternativas.

*Tabela 63- Alternativas não usuais para população por RA*

No intervalo de confiança (44, 45, 46)	Acima do intervalo de confiança (47, 48, 49)
Vicente Pires	Plano Piloto
Brazlândia	Gama
Itapoã	Guará
Paranoá	Taguatinga
Riacho Fundo II	Planaltina
São Sebastião	Recanto das Emas
Sobradinho	Samambaia
	Santa Maria

Nesta nova simulação, as alternativas 46 (RAC) no intervalo de confiança e, acima do intervalo de confiança, 48 (AAC) e 49 (RAC) mostram-se aprovadas. A triagem entre as alternativas originais e estas ocorrem nos mesmos critérios, não havendo mudança de paradigma entre as tabelas.

Tabela 64- Matriz pay-off aplicada as RA não usuais por população

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	NO INTERVALO DE CONFIANÇA			ACIMA DO INTERVALO DE CONFIANÇA		
	44 (EEA)	45 (AAC)	46 (RAC)	47 (EEA)	48 (AAC)	49 (RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	909	3	34	3.939	245	794
Payback simples (anos)	22,3	0,0	1,8	28,1	9,8	16,5
Vontade de implantar	94,7	95,6	95,6	89,3	91,2	91,2
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	0,8	0,0	0,3	2,3	0,2	0,9
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	2,6	0,0	0,0	1,2	0,0	0,2
Varição no enquadramento do rio	-1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	359,8	401,6	387,3	222,6	390,6	355,7
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	652	3	198	1.861	192	723
Varição do comprometimento da renda	0,60	0,0	0,4	0,8	0,2	0,6
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP	RJT	AP	AP

A exclusão das RA de Ceilândia (classe média-baixa), Sobradinho II (classe média-alta), Águas Claras (classe média-alta) e Sudoeste/Octogonal da Tabela 56 produziu a Tabela 65, o que possibilitou a simulação com mais três alternativas. Não houve mudança nas RA dentro do intervalo de confiança, não sendo necessário a simulação novamente destas alternativas.

Tabela 65- Alternativas não usuais para os consumos domiciliares por RA

No intervalo de confiança (50, 51, 52)	Fora do intervalo de confiança (53, 54, 55)
Candangolândia	Gama
Cruzeiro	Paranoá
Guará	Lago Norte
Núcleo Bandeirante	Lago Sul
Riacho Fundo	Park Way
Sobradinho	Plano Piloto
Vicente Pires	Taguatinga
Varjão	
Itapoã	
SCIA - Estrutural	
Brazlândia	
Planaltina	
Recanto das Emas	
Riacho Fundo II	
Samambaia	
Santa Maria	

Neste novo contexto da Tabela 66, a alternativa 50 foi eliminada pelo aumento da DBO acima do limite da triagem e a 51 pela baixa redução da exploração de RH. As demais foram aprovadas.

Tabela 66- Matriz pay-off aplicada aos consumos domiciliares por RA

CRITÉRIOS	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	NO INTERVALO DE CONFIANÇA			ACIMA DO INTERVALO DE CONFIANÇA		
	50 (EEA)	51 (AAC)	52 (RAC)	53(EEA)	54(AAC)	55(RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	2.931	8	109	2.372	322	967
Payback simples (anos)	28,1	0,8	2,9	14,9	9,8	16,5
Vontade de implantar	88,3	90,8	90,8	96,1	95,8	95,8
Redução da exploração de RH (milhões m³/mês)	1,9	0,0	0,8	1,6	0,2	0,8
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	1,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	275,7	401,6	362,1	306,8	390,6	359,3
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.666	10	572	1.262	257	593
Varição do comprometimento da renda	0,11	0,00	0,90	0,50	0,20	0,50
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP	AP	AP	AP

O mesmo processo de exclusão das RA produziu uma nova tabela com os valores para os consumos mensais, conforme exibido na Tabela 67.

Tabela 67- Alternativas não usuais para os consumos mensais

No intervalo de confiança (56, 57, 58)	Acima do intervalo de confiança (59, 60, 61)
Gama	Taguatinga
Vicente Pires	Plano Piloto
Lago Norte	Planaltina
Itapoã	Samambaia
Recanto das Emas	
Santa Maria	
São Sebastião	
Sobradinho	
Lago Sul	

Com a aceitabilidade do *payback*, as alternativas 58, 59 e 61 passaram a ser aprovadas. As demais continuaram com os mesmos problemas iniciais, alterando apenas a dimensão dos valores dos critérios.

Tabela 68- Matriz pay-off aplicada as RA não usuais agrupado por consumo mensal

CRITÉRIO	ALTERNATIVAS ANALISADAS					
	NO INTERVALO DE CONFIANÇA			ACIMA DO INTERVALO DE CONFIANÇA		
	56 (EEA)	57 (AAC)	58 (RAC)	59(EEA)	60(AAC)	61(RAC)
Investimento da sociedade (milhões R\$)	1.598	68	241	2.741	240	731
Payback simples (anos)	23,9	9,8	16,5	28,1	9,8	16,5
Vontade de implantar	94,1	94,4	94,4	93,0	94,7	94,7
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	1,2	0,1	0,6	1,6	0,2	0,6
Variação da DBO do corpo hídrico (mg/L)	1,2	0,0	0,2	0,5	0,0	0,1
Variação no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	338,1	395,3	372,8	308,4	392,5	373,6
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	1.079	63	431	1.057	186	396
Variação do comprometimento da renda	0,80	0,20	0,60	0,4	-1,1	0,3
TRIAGEM DA ALTERNATIVA	RJT	RJT	AP	AP	RJT	AP

#### 4.3.5 Resumo das alternativas

A Tabela 69 e Tabela 70 exibem um resumo com todas as alternativas aprovadas após as simulações e triagem realizada.

Tabela 69- Resumo das alternativas aprovadas – parte 1

	13 (RAC)	21 (AAC)	22 (RAC)	25 (RAC)	38 (EEA)	40 (RAC)	43 (RAC)	46 (RAC)	48 (AAC0)
Categoria	Média Baixa	Pop	Pop	Cons Dom	Média Alta*	Média Alta*	Média Baixa*	Pop*	Pop*
Investimento da sociedade (milhões R\$)	98	245	815	113	1.082	100	72	34	245
Payback simples (anos)	2	9,8	16,5	2,9	20,4	5	2	1,8	9,8
Vontade de implantar	89,2	89,4	89,4	90,1	97,5	95,6	91,7	95,6	91,2
Redução da exploração de RH (milhões m³/mês)	0,6	0,2	1,1	0,8	0,9	0,7	0,4	0,3	0,2
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,1	0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0	0
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	374,1	390,6	341,4	362,1	356,5	366,1	385,5	387,3	390,6
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	482	192	751	588	529	353	440	198	192
Varição do comprometimento da renda	0,7	0,2	0,6	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,2

Tabela 70- Resumo das alternativas aprovadas – parte 2

	49(RAC)	52 (RAC)	53(EEA)	54(AAC)	55(RAC)	58 (RAC)	59 (EEA)	61(RAC)
Categoria	Pop *	Cons Dom *	Cons Dom *	Cons Dom *	Cons Dom *	Cons Mensal *	Cons Mensal *	Cons Mensal *
Investimento da sociedade (milhões R\$)	794	109	2.372	322	967	241	2.741	731
Payback simples (anos)	16,5	2,9	14,9	9,8	16,5	16,5	28,1	16,5
Vontade de implantar	91,2	90,8	96,1	95,8	95,8	94,4	93	94,7
Redução da exploração de RH (milhões m³/mês)	0,9	0,8	1,6	0,2	0,8	0,6	1,6	0,6
Varição da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,2	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,1
Varição no enquadramento do rio	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lucro (milhões R\$)	355,7	362,1	306,8	390,6	359,3	372,8	308,4	373,6
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	723	572	1.262	257	593	431	1.057	396
Varição do comprometimento da renda	0,6	0,9	0,5	0,2	0,5	0,6	0,4	0,3

Onde:

Pop- Alternativa não usual para a população

Cons Dom- Alternativa não usual para o consumo domiciliar

Cons Mensal – Alternativa não usual para consumo mensal

Pop\*- Alternativa de solução factível para a população

*Cons Dom\** - Alternativa de solução factível para o consumo domiciliar

*Cons Mensal\** - Alternativa de solução factível para consumo mensal

#### 4.4 TRIAGEM

Foram elencadas 61 alternativas, e, após o processo de triagem, restaram 17. Cada uma teve sua exclusão em um critério distinto, conforme enumerado a seguir.

Como este estudo busca alternativas de conservação de água, todas aquelas que tiveram uma redução na exploração dos recursos hídricos quase nula, foram ignoradas: 9, 12, 14, 15, 16, 24, 30, 39, 42, 45, 51 e 57.

Buscando a manutenção ou melhora da qualidade de vida global para a população atual e futura, todas as alternativas em que o enquadramento do corpo hídrico piorou, foram desprezadas: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 17, 23, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 37 e 44

No mesmo objetivo, as alternativas que superaram o limite da variação de DBO foram desprezadas: 11, 26, 29, 41, 44, 47, 50 e 56.

Analisando o ponto de vista financeiro, onde o comprometimento da renda piorou, foram desprezadas as alternativas 36 e 60.

Buscando-se um investimento adequado e viável, utilizou-se como valor máximo de *payback*, 30 anos. Este valor tem similaridade com a vida útil dos materiais hidráulicos e com o tempo máximo de financiamento de um imóvel, por exemplo. Assim, as alternativas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 17, 18, 19, 20, 29, 30, 31, 32, 33 e 34 foram desprezadas. Estas alternativas tiveram um *payback* alto devido ao pequeno montante reduzido na fatura de água em comparação com o investimento inicial, ficando desproporcional.

Em relação à concessionária, sob a ótica de uma empresa, é importante que seu balanço seja positivo a fim de que não entre em concordata. Assim, a alternativa 2 foi desprezada.

Após a triagem, restaram as alternativas: 13, 21, 22, 25, 39, 40, 43, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 58, 59 e 61. Todas as alternativas que foram desprezadas pelo processo de triagem foram marcadas ao longo do item 4.3, na apresentação dos resultados. Das 35 alternativas disponíveis, restaram 10, facilitando a análise.

#### 4.5 COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS TRIADAS

As alternativas são tão complexas entre si e pela visão dos atores que não foi possível ordená-las como um todo. Assim, o que se pode destacar é que as alternativas 22 (RAC), 49 (RAC), 53 (EEA), 38 (EEA) e 59 (EEA) foram as piores, enquanto a 46 (RAC) aparece em primeiro lugar em ambos os métodos. A ordenação completa pode ser vista na Tabela 72 e a definição dos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$  na Tabela 71.

Tabela 71- Valores de preferência e veto ( $p$ ,  $q$ ,  $v$ )

	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>V</b>
Investimento da sociedade (milhões R\$)	70	210	0
Payback simples (anos)	1	3	0
Vontade de implantar	1,5	4,5	0
Redução da exploração de RH (milhões m <sup>3</sup> /mês)	0,4	1,2	0
Variação da DBO do corpo hídrico (mg/L)	0,5	1,5	0
Variação no enquadramento do rio	0	0	0
Lucro (milhões R\$)	25	75	0
Economia na operação das ETE (milhares R\$)	200	600	0
Variação do comprometimento da renda	0,2	0,6	0

Tabela 72- Ordenação final das alternativas

<b>Ordem de importância</b>	<b>ELECTRE III</b>	<b>TOPSIS p=1</b>
1	46 (RAC)	46 (RAC)
2	25 (RAC)	54(AAC)
	40 (RAC)	48 (AAC)
	43 (RAC)	21 (AAC)
	52 (RAC)	40 (RAC)
6	54(AAC)	61(RAC)
	58 (RAC)	13 (RAC)
	13 (RAC)	43 (RAC)
9	48 (AAC)	55(RAC)
10	21 (AAC)	58 (RAC)
11	61(RAC)	52 (RAC)
12	55(RAC)	25 (RAC)
13	22 (RAC)	53(EEA)
	49(RAC)	38 (EEA)
	53(EEA)	59 (EEA)
16	38 (EEA)	49(RAC)
17	59 (EEA)	22 (RAC)

#### 4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO

Os pesos dos critérios foram variados de -10% a +10% buscando-se alterações na ordenação, conforme metodologia. Para ambas as faixas de valores, não houve variação na ordenação pelo método TOPIS, mostrando a robustez do modelo.

A mesma aplicação no ELECTRE III, provocou as alterações na ordenação, em particular, as alternativas que ocupam posições intermediárias, não afetando as posições melhores



nem as piores. A única exceção é que o aumento do *payback* em 10% promove a alternativa 40 (RAC) a primeira posição juntamente com a 46 (RAC) – já priorizada.

A melhora na classificação da posição da alternativa 40 (RAC) é aceitável pois ela já ocupa a segunda posição no TOPSIS. Assim, tem-se que a alternativa 46 (RAC) é bem aceita por todos os atores, enquanto a alternativa 40 (RAC) tende a ser aceita por todos.

#### 4.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Buscando identificar alternativas de conservação de água ótimas ao cenário do DF, considerando os atores sociedade, governo, meio ambiente e sociedade, foi aplicada a metodologia do capítulo anterior e os resultados foram calculados.

Preliminarmente, o reagrupamento dos dados das RA e a conversão em ETE foi realizado, permitindo verificar as consequências de cada alternativa de conservação de água no âmbito da ETE, chamando de matriz *pay-off*.

Foram produzidas 61 alternativas, que, após a triagem, restaram 17. As alternativas rejeitadas foram aquelas que tiveram uma redução na exploração dos recursos hídricos quase nula, que o enquadramento do corpo hídrico piorou, que o comprometimento da renda aumentou, que o *payback* superou os 30 anos e que produziram prejuízo a concessionária de saneamento.

Os resultados das alternativas mostram que o AAC não foi uma alternativa viável no DF. Tal fato ocorre devido ao seu extenso período seco, exigindo grandes reservatórios.

A alternativa 46 (RAC) foi a destaque, logrando êxito com todos os atores. Ela é a aplicação da alternativa RAC nas áreas de população pertencentes ao intervalo de confiança, com a exclusão das RA já listadas. Assim, as RA enquadrantes desta alternativa são Vicente Pires, Brazlândia, Itapoã, Paranoá, Riacho Fundo II e Sobradinho.

A alternativa 40 (RAC) apresentou grau de relevância alto, devido ao teste de sensibilidade. Esta alternativa é a aplicação da RAC na classe média-alta, com as exceções já citadas, ou seja, o das regiões administrativas SIA, Núcleo Bandeirantes, Guará, Cruzeiro, Sobradinho, Vicente Pires e Taguatinga.

## 5. CONCLUSÕES

O Brasil tem passado por crises hídricas desde o século XVIII, o que alerta para a produção de conhecimento. Diversos estudos citados mostram que a academia tem tentado explorar o tema, porém sem resultados tão precisos quanto este trabalho. Vários trabalhos aplicam os métodos de forma irrestrita, como Cureau & Ghisi (2019) nas aplicações de métodos e suas combinações em massa, não sendo a alternativa mais eficaz a todos os atores. Por outro lado, há estudos particularizados pelas faixas de renda, como Domínguez et al. (2017) e Oviedo-Ocaña et al. (2018), com a verificação da aplicação do aproveitamento da água de chuva e do reúso de águas cinzas em regiões de renda baixa, (Santos, 1991) com pesquisas em renda alta e Sant'Ana (2011) com a aplicação dos métodos por faixa de renda. Este último aproxima-se deste resultado por considerar que as faixas de renda média-baixa e média-alta são mais factíveis. Entretanto, tais estudos não consideram todos os atores deste trabalho, como a concessionária e o governo, além de não fazerem uma análise em relação as ETE. Assim, as respostas são parciais, não atendendo todos os atores e escopo, selecionando locais não recomendados para implantação das alternativas de conservação e água.

Diante disto, o presente estudo dedicou-se a propor uma metodologia capaz de buscar soluções ótimas para a conservação de água, podendo ser amplamente utilizada. Além disso, existem países com similaridades com o clima brasileiro, destacando-se a América Central, África Central, Índia e a região da Indonésia (Hanschen, 2020). Tal fato permite a reutilização de diversos métodos resultados entre essas regiões de forma mais simples. No âmbito Brasil, os estados do MT, MS, GO, TO, PI, MG, CE, RN, PB, PE, AL, MA, RR, AP e RO estão na mesma zona de *Kopplen*, facilitando a aplicação da metodologia e dos resultados.

O aumento da demanda tem características atreladas as mudanças climáticas, o crescimento populacional e o aumento do consumo *per capita*. O crescimento da demanda resultante destes fatores, foi de 4% em 2018 e 8% em 2019, ambos tendo 2017 como referência. A economia proposta por este estudo foi de quase 7% por mês, quase anulando o crescimento destes últimos 3 anos.

Outro aspecto desta economia foi que a taxa de descarga dos reservatórios passou a ser inferior ao modelo projetado, permitindo que seu nível permaneça maior por um longo período. Considerando o ano de 2017 como referência, a economia do resultado deste estudo, acumulada ao longo dos anos, seria equivalente a 2 meses do ano de 2019. Em termos de cota do reservatório do Descoberto, isto representa uma economia em quase 30% do volume útil, sem considerar a recarga (30hm<sup>3</sup> de economia dos 103hm<sup>3</sup> máximos).

Em 2019, o PIB do DF foi de, aproximadamente, 273.614 milhões de reais. A solução ótima encontrada necessita um investimento de 34 milhões de reais para toda a população no intervalo de confiança com as RA e ETE excluídos, totalizando 982 mil habitantes, correspondendo a menos de R\$94,72 por domicílio, valor viável para a população. Entretanto, o custeio desta solução pelo governo representaria 0,011%, sendo passível de planejamento em prol da sociedade.

## 5.1 A SOLUÇÃO ÓTIMA

Este estudo buscou uma nova metodologia para comparar alternativas de conservação de água, introduzindo conceitos como a análise sob a ótica das estações de tratamento, a verificação do processo de autodepuração dos rios, o enquadramento dos corpos receptores, com a comparação por meio de critérios avaliados por atores diferentes. A metodologia foi verificada num estudo de caso no Distrito Federal.

Para os atores foram escolhidos a sociedade, o governo, o meio ambiente e a concessionária de água e esgoto. Entre os critérios, utilizou-se o valor monetário a ser investido pelo cidadão, o tempo do *payback* simples, a vontade de implantar a alternativa em questão, o volume a ser reduzido da exploração dos recursos hídricos, as consequências das alterações das característica do esgoto, tal qual a variação da DBO do corpo hídrico e a variação no enquadramento do rio, o lucro da concessionária, o valor monetário economizado na operação das ETE e a variação do comprometimento da renda em função da mudança no valor da fatura de água e esgoto residencial.

Os pesos dos critérios acima elencados foram verificados por meio de questionário, enviados à sociedade em geral e a um painel de especialistas. Da interpretação dos votos, nota-se que os especialistas atribuem mais importância a alguns critérios do que a sociedade, tais quais o *payback* simples e a redução da exploração dos recursos hídricos.

A sociedade atribuiu maior peso ao comprometimento de renda do que os especialistas. De todos os critérios, o maior peso absoluto foi o valor despendido pelo cidadão para investimento na alternativa. Destes dados, concluiu-se que a sociedade possui, neste momento, uma visão mais imediata em relação ao capital aplicado, priorizando outros setores e compras.

A vontade de implantar, o enquadramento do corpo hídrico e o lucro da concessionária são os critérios que estão com valores abaixo da média e mostram sua baixa preferência comparativa no processo de hierarquização das alternativas. Apesar das alternativas finais possuírem o mesmo valor para o enquadramento do corpo hídrico, este teve importância na seleção por mostrar que, em alguns casos, rios seriam poluídos.

A variação no enquadramento dos rios não demonstrou relevância na hierarquização das alternativas. Tal fato ocorre devido a alta eficiência das ETE, provocando pouca alteração na DBO e OD dos rios. Entretanto, a futura análise de outras componentes que participam do enquadramento dos rios poderá produzir outros conhecimentos.

De forma similar, o custo do tratamento da DBO em termos de peso não é relevante pela alta eficiência das ETE. Neste caso, o volume a ser tratado pelo parque industrial, em particular, as bombas e a demanda de energia são significativas.

A triagem colaborou para a análise por menorizada das alternativas remanescentes, tendo reduzido de 35 para 17 alternativas. Deste total, oito foram descartadas por piorarem a qualidade do rio, avaliada pelo seu enquadramento CONAMA; oito por aumentaram o comprometimento de renda, sete por possuir *payback* maior que o limite e uma por prejudicar o balanço da concessionária, atribuindo-lhe um prejuízo anual. Restaram três alternativas baseadas em EEA, três em AAC e o restante em RAC. A baixa quantidade de alternativas AAC deve-se ao clima do Distrito Federal, com períodos bem características e longos de seca, que, numa visão de futuro, tende a piorar, conforme já mostrado neste estudo, prejudicando a viabilidade da aplicação das alternativas AAC. As alternativas do EEA também não tiveram boa priorização visto que a economia produzida por estes equipamentos se aproxima do limite da concessionária não ter lucro, além de que, consistiram nos maiores *payback* e requererem maior investimento da sociedade.

A robustez dos modelos foi comprovada por testes de análise de sensibilidade nos dois métodos, ELECTRE III e TOPSIS, destacando a alternativa 46 (RAC) em primeiro lugar

e as alternativas 22 (RAC), 49 (RAC), 53 (EEA), 38 (EEA) e 59 (EEA) como as piores escolhas. A alternativa de destaque corresponde ao reúso de águas cinzas aplicados as regiões administrativas de Vicente Pires (média-alta), Brazlândia(média-baixa), Itapoã (média-baixa), Paranoá (média-baixa), Riacho Fundo II (média-baixa) e Sobradinho (média-alta).

A alternativa 40 (RAC) permanece em segunda lugar em todas as análises. Entretanto, o teste de sensibilidade a eleva a primeira posição juntamente com a 46 (RAC). Assim, com o uso das ferramentas ELECTRE III e o TOPSIS, a alternativa supracitada pode ser considerada uma solução boa, numa segunda posição, não tendo o mesmo desempenho ótimo que a primeira. Esta alternativa representa a aplicação do reúso de água cinza nas regiões administrativas de Taguatinga (média-alta), Vicente Pires (média-alta), Sobradinho (média-alta), Cruzeiro (média-alta) e Guará (média-alta).

As alternativas de uso dos equipamentos economizadores de água (53, 38, 59), o reúso de água cinza (49) nas regiões administrativas de Plano Piloto, Gama, Guará, Taguatinga, Planaltina, Recanto das Emas, Samambaia e Santa Maria, e a mesma medida nas regiões administrativas (22) do Plano Piloto, Gama, Guará, Taguatinga, Ceilândia, Planaltina, Recanto das Emas, Samambaia e Santa Maria apresentam os piores desempenho e devem ser descartadas como soluções. As demais soluções encontram-se numa zona intermediária, a qual não é possível priorizar nem descartar.

O volume de água reduzido na exploração dos recursos hídricos possui uma variação de 0,2 a 1,6 milhões de m<sup>3</sup>/mês. Este valor pode ser considerado baixo, entretanto isto ainda foi um ganho, tendo como exemplo o consumo *per capita* do Distrito Federal afastando-se do patamar de 170 L/hab/dia e reduzindo para 129 L/hab/dia, uma economia de 27,7%. Este valor deve ser considerado razoável à medida que a conservação de água é um trabalho gradual e que deve ser feito com técnica, precisão e a longo prazo.

Diante de todo o exposto neste trabalho, nota-se que o simples fato de buscar alternativas que agradem a todos os atores é difícil, dificultando a obtenção de um desempenho considerável em qualquer critério e ratificando a necessidade do uso dos MMC para estudos deste nível.

## 5.2 LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS

Este trabalho utilizou dados do DF, mas sua metodologia pode ser aplicada em qualquer estado. Assim, sugere-se analisar outros estados e comparar o resultado, verificando a relação com a renda, por exemplo. Os resultados deste estudo complementam estudos anteriores, fornecendo informações sobre a conservação de água em grandes centros urbanos residenciais, estabelecendo resultados numa grande escala.

A pesquisa de opinião realizada para determinação dos pesos poderia ser realizada na esfera nacional, com representatividade estatística de cada estado. Tal fato possibilitaria relacionar o interesse dos atores dos estados e uma margem de erro menor no processo.

Também, foram analisados parâmetros como lucro e custo operacional de uma concessionária de saneamento, estabelecendo equações para tal. As análises da concessionária poderiam ser refinadas, com as variáveis principais, como funcionários, energia e produtos químicos inseridos. Tal fato possibilitaria uma análise pormenorizada do lucro, além de uma estimativa do número ideal de funcionários.

De forma mais específica, analisou-se a consequência da qualidade e enquadramento de um corpo hídrico em função da variação da descarga da ETE, diante de uma adoção de uma alternativa de conservação de água. Diante da implantação das alternativas de conservação de água, é esperado uma menor captação nos rios, o que aumentaria a vazão de diluição dos esgotos. Sugere-se a verificação em rios amostrais do comportamento da vazão, uso das componentes nitrogenadas e modelos distintos do Street Phelps. Diante da resposta, poderia ser recalculado o processo de autodepuração ou verificado que ele é desprezível perante o conjunto.

O uso dos MMC, com a seleção dos atores sociedade, governo, concessionária de saneamento e meio ambiente e critérios com pesos tentou equilibrar a vontade de cada ator, mantendo uma alternativa ótima, que atendesse a todos. Sugere-se a inferência de novos critérios para comparação e validação dos dados. Outro aspecto é o uso de outras ferramentas MMC para efeitos de comparação das respostas entre métodos.

Neste trabalho não foi considerado que a região do Jardim Botânico é atendida predominantemente por fossa séptica. Tal decisão ocorreu devido ao percentual entre o atendimento pela concessionária e por fossa não ser conhecido. Entretanto, num horizonte

de longo prazo, onde o saneamento é responsabilidade do Governo e da Concessionária, toda a população deve estar atendida pela rede de esgoto e água, não afetando o resultado deste estudo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDIB. (2019a). *Saneamento. Câmara dos Deputados*.
- ABDIB. (2019b). Comissão Especial – Saneamento. *Comissão Especial do Saneamento 1–12*.
- ABNT. (2019). *NBR 16782 - Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes. Conservação de água em edificações - Requisitos, procedimentos e diretrizes*.
- ADASA. (2011). Relatório Técnico Parcial 3.
- ADASA. (2017). *Plano Distrital de saneamento básico e de gestão integrada de resíduos sólidos*. <http://www.adasa.df.gov.br/plano-distrital-de-saneamento-basico-e-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos>.
- ADASA. (2019a). Plano de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos afluentes distritais do rio Paranaíba. 99. <http://www.adasa.df.gov.br/plano-de-recursos-hidricos-do-paranaiba-df>.
- ADASA. (2019b). *Resolução nº 12, de 29 de novembro de 2019*.
- ADASA. (2021). Resumo Executivo. 35–36.
- ADASA. (2022). Painel de Boletim de Consumo Per Capta por Região Administrativa.
- Aguiar Junior, S. (2011). *Análise de gestão: política da água e sustentabilidade. Tese de doutorado. Centro de Desenvolvimento sustentável. Universidade de Brasília*.
- Albuquerque, T.M.A. (2004). *Seleção multicriterial de alternativas para o gerenciamento da demanda de água na escala de bairro*. [http://www.hidro.ufcg.edu.br/Dissertacao\\_Tatiana\\_Albuquerque.pdf](http://www.hidro.ufcg.edu.br/Dissertacao_Tatiana_Albuquerque.pdf).
- Alexandre, A.C., Kalbusch, A. & Henning, E. (2017). Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **22**, 1005–1015.
- ANA. (2002). A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil.
- ANA. (2011). Quase 20% dos municípios brasileiros decretaram emergência em 2010 — Agência Nacional de Águas.



ANA. (2017). *Conjuntura Recursos Hídricos do Brasil 2017 Relatório pleno. Conjuntura Recursos Hídricos do Brasil*. [http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura\\_completo.caf2236b.pdf](http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf).

ANA. (2018). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*.

Araújo, I.M.M. de., Nascimento, M.M.B. & Oliveira, A.G.R. da C. (2016). Recursos hídricos e saúde humana: impactos industriais e estratégias de manejo e proteção ambiental no município de Goiana/PE. *R. Inter. Interdisc. INTERthesis* **13**, 163–181.

Ashley, P. (2002). *Ética e responsabilidade social nos negócios*. São Paulo: Saraiva.

Augusta, M. & Braga, R. (2011). Universidade do Estado do Rio de Janeiro Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Engenharia Rio de Janeiro 2011.

Ayala, N.F. & Frank, A.G. (2013). Métodos de análise multicritério: uma revisão das forças e fraquezas. 1–11.

Barreto, D. (2008). Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. *Ambiente Construído* **8**, 137–149.

Başdar, C. & Alper, D. (2017). A Comparison of TOPSIS and ELECTRE Methods: An Application on the Factoring Industry. *Business and Economics Research Journal* **8**, 627–646.

Batista, T., Elisa, M. & Costa, D. (2015). Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério. *REGET/UFSM* **19**, 209–221.

Bazzarella, B.B. (2005). *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso-não potável em edificações*.

Bazzarella, B.B. & Gonçalves, R.F. (2006). Tratamento De Água Cinza Em Processos Anaeróbio. *Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental - AIDIS* **11**.

Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A. & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*.

Belmeziti, A., Coutard, O. & de Gouvello, B. (2013). A new methodology for evaluating potential for potable water savings (PPWS) by using rainwater harvesting at the urban

level: The case of the municipality of colombes (paris region). *Water (Switzerland)* **5**, 312–326.

Bocanegra-Martínez, A., Ponce-Ortega, J.M., Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., Castro-Montoya, A.J. & El-Halwagi, M.M. (2014). Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. *Resources, Conservation and Recycling Elsevier B.V.* **84**, 44–56.

Boeger, L. & Sant’Ana, D. (2013). Análise de viabilidade para o aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais de Brasília. *Terra: Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades* 1140–1153.

Boggia, A. & Cortina, C. (2010). Measuring sustainable development using a multi-criteria model: A case study. *Journal of Environmental Management Elsevier Ltd* **91**, 2301–2306.

BRASIL. (1988). Constituição Da República Federativa Do Brasil. [https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988\\_03.07.2019/CON1988.asp](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_03.07.2019/CON1988.asp). Acesso em 16 de Junho de 2021.

Brasília, A. (2020). Cai o consumo de água na área urbana do DF. <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2020/06/05/cai-o-consumo-de-agua-na-area-urbana-do-df/>. Acesso em 15 de Julho de 2020.

Braum, E.S., Lima, G.B. & De, W. (2019). Estimativa de esgoto e modelagem da autodepuração dos efluentes domésticos lançados no Rio Doce na cidade de Baixo Guandu/ES. **16**, 40–48.

Caballero, R. & Go, T. (2010). A Survey on Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis Methods. *Journal of MultiCriteria Decision Analysis* **110**, 79–110.

Cáceres, P.S., Ramos, S.R. & Sant’Ana, D.R. (2019). Potencial de redução da exploração dos recursos hídricos locais pelo aproveitamento de água pluvial em residências no Distrito Federal. *Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo* 11–19.

CAESB. (2018a). Panorama da prestação dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos. In Anais do CAESB - ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL E ESGOTAMENTO SANITÁRIO.

- CAESB. (2018b). *Relatório da administração*.
- CAESB. (2020). *Apresentação do relatório da administração CAESB 2020*.
- CAESB. (2021). *Relatorio-Administracao-2021*.
- Caleiro, J.P. (2020). Veja o peso de todas as grandes economias em um único diagrama. *exame* 1–7.
- Campisano, A., D’Amico, G. & Modica, C. (2017). Water saving and cost analysis of large-scale implementation of domestic rain water harvesting in minor Mediterranean islands. *Water (Switzerland)* **9**, 14.
- Capellari, A. & Botti Capellari, M. (2018). A água como bem jurídico, econômico e social: a necessidade de proteção das nascentes. *CIDADES, Comunidades e Territórios* 0–16.
- Carter, C.R. & Easton, P.L. (2011). Sustainable supply chain management: Evolution and future directions. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* **41**, 46–62.
- Chapra, S. & Chapra, S.C. (1997). *Surface Water-Quality Modeling QUAL2Kw View project Cayuga Lake Water Quality View project Surface Water-Quality Modeling*. <https://www.researchgate.net/publication/48447645>.
- Chhipi-Shrestha, G., Rodriguez, M. & Sadiq, R. (2019). Selection of sustainable municipal water reuse applications by multi-stakeholders using game theory. *Science of the Total Environment* Elsevier B.V. **650**, 2512–2526.
- Christian-Smith, J., Heberger, M. & Allen, L. (2012). *Urban Water Demand in California to 2100: Incorporating Climate Change*. California: Pacific Institute. [http://www.pacinst.org/reports/urban\\_water\\_demand\\_2100/%5Cnhttp://www.pacinst.org/wp-content/uploads/2013/02/full\\_report38.pdf](http://www.pacinst.org/reports/urban_water_demand_2100/%5Cnhttp://www.pacinst.org/wp-content/uploads/2013/02/full_report38.pdf).
- CNM. (2021). Seca na Região Sul causa prejuízo de R\$ 15,4 bilhões a Municípios entre 2019 e 2020. <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/seca-na-regiao-sul-causa-prejuizo-de-r-15-4-bilhoes-a-municipios-entre-2019-e-202>. Acesso em 21 de Março de 2021.

CNN. (2021). Chuvas serão insuficientes para reverter crise hídrica, alertam especialistas. <https://www.cnnbrasil.com.br/business/chuvas-serao-insuficientes-para-reverter-crise-hidrica-alertam-especialistas/>. Acesso em 3 de Setembro de 2021.

CODEPLAN. (2014). *Pesquisa Distrital Por Amostra De Domicílios PDAD - 2013/2014 - Brasília/Plano Piloto. PESQUISA DISTRITAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS - PDAD.*

[http://www.codeplan.df.gov.br/images/CODEPLAN/PDF/pesquisa\\_socioeconomica/pdad/2013/PDAD\\_Brasilia\\_Plano\\_Piloto\\_2014.pdf](http://www.codeplan.df.gov.br/images/CODEPLAN/PDF/pesquisa_socioeconomica/pdad/2013/PDAD_Brasilia_Plano_Piloto_2014.pdf).

CODEPLAN. (2021). *GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL SECRETARIA DE ESTADO DE ECONOMIA DO DISTRITO FEDERAL.*

CODEPLAN. (2022). *Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios PDAD 2021- Resultados por RA.*

CONAMA. (2014). RESOLUÇÃO Nº02, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2014. DF.

Conama, C.N.D.M.A. (2005). RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.

Cordeiro, B.S. (2010). *A GESTÃO DE LODOS DE FOSSAS SÉPTICAS: UMA ABORDAGEM POR MEIO DA ANÁLISE MULTI OBJETIVO E MULTICRITÉRIO.*

Costa, D. & Borges, L.Z. (2008). Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com o auxílio da análise multicritério. *Ambiente Construído* **6**, 31–47.

Couto, G. (2021). Crise hídrica: Rio Paraguai atinge nível negativo pelo segundo ano consecutivo - Meio Ambiente - Campo Grande News. <https://www.campograndenews.com.br/meio-ambiente/crise-hidrica-rio-paraguai-atinge-nivel-negativo-pelo-segundo-ano-consecutivo>. Acesso em 12 de Setembro de 2021.

Cureau, R.J. & Ghisi, E. (2019). Reduction of potable water consumption and sewage generation on a city scale: A case study in Brazil. *Water (Switzerland)* **11**, 16.

Da Silva, A.V.A. (2006). Avaliação do Tratamento do Lodo da ETE Arrudas - MG (Lodos Ativados Convencional). 108.

da Silva, J.K., Nunes, L.G.C.F., Soares, A.E.P. & da Silva, S.R. (2017). Avaliação de equipamentos economizadores como suporte ao gerenciamento urbano de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* **22**,

Damian, A., Gilberto De Oliveira Moritz, P., Fernandes, M. & Volume, P. (2010). *Organização, Processos e Tomada de Decisão*. UFSC.

de Queiroz, F.M., de Matos, A.T. & von Sperling, M. (2015). Estimativa do coeficiente de reaeração da água em canal raso de fundo deslizante. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **20**, 79–88.

DeNicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., Khwaja, H. & Carpenter, D.O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health* Elsevier Inc **81**, 342–353.

DISTRITO FEDERAL., ADASA. & ECOPLAN. (2012). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal: Anexos do volume II. **II**, 281.

Domènech, L. & Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd **19**, 598–608.

Domínguez, I., Ward, S., Mendoza, J.G., Rincón, C.I. & Oviedo-Ocaña, E.R. (2017). End-user cost-benefit prioritization for selecting rainwater harvesting and greywater reuse in social housing. *Water (Switzerland)* **9**, 18.

dos Santos, A.R., Saito, N.S., Peluzio, T.M.D.O., Braga, J.C., Silva, K.G. da., Tuler, T. de O., Garcia, G. de O., Sedyama, G.C., *et al.* (2010). *Ad'Água 2.0 Sistema Para Simulação Da Autodepuração De Cursos D'Água Manual Do Usuário*.

Drinking Water. (2021). *Drinking Water Build Together*. [www.infrastructurereportcard.org](http://www.infrastructurereportcard.org).

Eroksuz, E. & Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V. **54**, 1449–1452.

Farreny, R., Gabarrell, X. & Rieradevall, J. (2011). Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V. **55**, 686–694. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.008>.

Fayer, G.C., PEREIRA, J.C., RIBEIRO, L.G., JÚNIOR, N.B. & FERREIRA, P.M. (2017). Crise Hídrica : Evolução Dos Decretos Estaduais Sobre Escassez Hídrica Em Minas Gerais. *III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do SUL* 1–10.

Ferreira, M.I.P., Silva, J.A.F. da. & Pinheiro, M.R. de C. (2008). Recursos hídricos: água no mundo, no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego* **2**, 29–36.

FGV. (2022). IGP-M. <http://www.yahii.com.br/igpm.html>. Acesso em 12 de Novembro de 2022.

Fidar, A.M., Memon, F.A. & Butler, D. (2016). Performance evaluation of conventional and water saving taps. *Science of the Total Environment* Elsevier B.V. **541**, 815–824.

Fiori, S; Fernandes, V; Pizzo, H. (2009). Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. *Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*.

Freeman, R.E.E. & McVea, J. (2001). A Stakeholder Approach to Strategic Management. *SSRN Electronic Journal* **33**.

Freitas, H.M.R. De. & Kladis, C.M. (1995). Tomada de decisão na pequena empresa ESTUDO MULTI CASO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS INFORMATIZADAS DE APOIO À DECISÃO. *GIANTI - Grupo de pesquisa de Gestão do Impacto da Adoção de novas Tecnológicas de Informação* **2**, 30–34.

Freitas, J.E.F.W.L.G.K. de., Pinto, M.A.T. & Salles, P.S.B. de A. (2018). *Gestão da crise hídrica 2016 – 2018*. Brasília/DF.

García-Montoya, M., Sengupta, D., Nápoles-Rivera, F., Ponce-Ortega, J.M. & El-Halwagi, M.M. (2016). Environmental and economic analysis for the optimal reuse of water in a residential complex. *Journal of Cleaner Production* **130**, 82–91.

- Garrote, L., Granados, A. & Iglesias, A. (2016). Strategies to reduce water stress in Euro-Mediterranean river basins. *Science of the Total Environment* Elsevier B.V. **543**, 997–1009.
- GDF. (2020). População do Distrito Federal. <http://brasilia.df.gov.br/populacao/>. Acesso em 29 de Julho de 2020.
- Ghanayem, M. (2001). Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. *10th International Conference on Rainwater Catchment systems, Mannheim, Germany*. 10.
- Ghisi, E. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment* **41**, 1544–1550.
- Ghisi, E., Cardoso, K.A. & Rupp, R.F. (2012). Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. *Journal of Environmental Management* Elsevier Ltd **100**, 109–119.
- GHISI, E. & CORDOVA, M.M. (2014). Netuno: Manual do Usuário . Florianópolis: UFSC.
- Ghisi, E. & Ferreira, D.F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment* **42**, 2512–2522.
- Ghisi, E. & Mengotti de Oliveira, S. (2007). Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment* **42**, 1731–1742.
- Ghisi, E., Montibeller, A. & Schmidt, R.W. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment* **41**, 204–210.
- Ghisi, E. & Schondermark, P.N. (2013). Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. *Water Resources Management* **27**, 2555–2576.
- Giacchini, M. (2011). *Uso/Reuso da água. SÉRIE DE CADERNOS TÉCNICOS DO CREA-PR — USO E REÚSO DA ÁGUA.*

Gonçalves, R.W. (2001). *MÉTODOS MULTICRITÉRIOS COMO APOIO À DECISÃO EM COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS*.

Governo do Distrito Federal, C.G.P. do Z. (2017). *Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal - UM DF MELHOR PARA TODOS. DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO DISTRITO FEDERAL E O ORDENAMENTO TERRITORIAL*.

Graywater, U. (2016). *Using graywater and stormwater to enhance local water supplies: An assessment of risks, costs, and benefits. Using Graywater and Stormwater to Enhance Local Water Supplies: An Assessment of Risks, Costs, and Benefits*.

Guarnieri, P., Sobreiro, V.A., Nagano, M.S. & Marques Serrano, A.L. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production* **96**, 209–219.

Gurung, T.R. & Sharma, A. (2014). Communal rainwater tank systems design and economies of scale. *Journal of Cleaner Production Elsevier Ltd* **67**, 26–36.

Hanschen. (2020). Köppen climate classification. <http://hanschen.org/koppen/>. Acesso em 25 de Julho de 2020.

Haque, M.M., Rahman, A. & Samali, B. (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production Elsevier Ltd* **137**, 60–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.038>.

Hatton MacDonald, D., Morrison, M.D. & Barnes, M.B. (2010). Willingness to Pay and Willingness to Accept Compensation for Changes in Urban Water Customer Service Standards. *Water Resources Management* **24**, 3145–3158.

Hespanhol, I.; & Gonçalves, O.M. (2004). *Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o Setor Industrial*.

Houston, J.R. (2013). Global sea level projections to 2100 using methodology of the intergovernmental panel on climate change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* **139**, 82–87.

Howard, A. (2014). PAGE 2 | urban Water Conservation and efficiency Potential in California. 12.



- IBGE. (2019). Pesquisa de Orçamentos Familiares. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html?edicao=25578&t=resultados>. Acesso em 18 de Maio de 2020.
- IBGE. (2020). Panorama. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Acesso em 23 de Agosto de 2020.
- IBGE. (2022). IBGE | Projeção da população. <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>. Acesso em 9 de Agosto de 2021.
- IBGE | Cidades@ | Distrito Federal | Panorama. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/panorama>. Acesso em 6 de Fevereiro de 2023.
- Imteaz, M.A., Rahman, A. & Ahsan, A. (2012). Reliability analysis of rainwater tanks: A comparison between South-East and Central Melbourne. *Resources, Conservation and Recycling Elsevier B.V.* **66**, 1–7.
- INCAPER. (2020). Meteorologia - Gráficos da Série Histórica - Vitória/ES. <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-vitoria>. Acesso em 22 de Dezembro de 2020.
- Jacinto, M. (2010). Universidade Federal de Santa Catarina Universidade Federal de Santa Catarina. *Filosofia* **55**, 2008–2009.
- Jaeger, W.K., Amos, A., Bigelow, D.P., Chang, H., Conklin, D.R., Haggerty, R., Langpap, C., Moore, K., *et al.* (2017). Finding water scarcity amid abundance using human-natural system models. *PNAS* **114**, 11884–11889.
- Jardim, S.B. (1999). *Aplicabilidade de algumas técnicas de análise multiobjetivo ao processo decisório no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica*.
- Jordão, M.D.L. (2017). *Influência Da Transposição De Bacias Do Paraíba Do Sul-Pirai-Guandu Na Descarga De Sólidos Suspensos Para a Baía De Sepetiba*. Predicting the binding mode of flexible.
- Khastagir, A. & Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology* **381**, 181–188.

- Kingsley, D.C. & Brown, T.C. (2013). Value learning and the willingness to accept-willingness to pay disparity. *Economics Letters* Elsevier B.V. **120**, 473–476.
- Kordana, S., Słyś, D. & Dziopak, J. (2014). Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling houses. *Journal of Cleaner Production* **82**, 58–69.
- Kramer, R. a. (2005). Economic Tools for Valuing Freshwater and Estuarine Ecosystem Services. 14.
- Leal, B.L. (2013). *Viabilidade de reúso de águas cinza*
- Lee, M., Tansel, B. & Balbin, M. (2011). Influence of residential water use efficiency measures on household water demand: A four year longitudinal study. *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V. **56**, 1–6.
- Lee, M., Tansel, B. & Balbin, M. (2013). Urban Sustainability Incentives for Residential Water Conservation: Adoption of Multiple High Efficiency Appliances. *Water Resources Management* **27**, 2531–2540.
- Leitão, S.A.M. (2009). *Escassez de água na cidade: riscos e vulnerabilidades no contexto da cidade de Curitiba/PR*. UFPA.
- Leong, J.Y.C., Oh, K.S., Poh, P.E. & Chong, M.N. (2017). Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd **142**, 3014–3027.
- Leuck, M.F. (2008). *Avaliação econômica do impacto de medidas individualizadas de conservação de água em Porto Alegre*.
- Li, W., Hai, X., Han, L., Mao, J. & Tian, M. (2020). Does urbanization intensify regional water scarcity? Evidence and implications from a megaregion of China. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd **244**, 9.
- Liaw, C.H. & Chiang, Y.C. (2014). Framework for assessing the rainwater harvesting potential of residential buildings at a national level as an alternative water resource for domestic water supply in Taiwan. *Water (Switzerland)* **6**, 3224–3246.
- Lima, francisco R.J. (2013). Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores. *Teses. Usp.Br* 150.

- Linkov, I., Satterstrom, F.K., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T. & Ferguson, E. (2006). From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications. *Environment International* **32**, 1072–1093.
- Lobato, M.B. (2005). *Marllon boamorte lobato sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método electre iii*.
- Luduvica, M.L., Ferreira, F.A., Barros, W.L. dos S., Mello, M.A. dos S. & Pinto, M.A.T. (2016). *Relatorio da Administração CAESB*.
- Manca, R. da S. (2008). O planejamento integrado de recursos do setor energetico como base para o gerenciamento dos recursos hídricos: aplicabilidade para o setor de abastecimento. 99.
- Mandal, D., Labhasetwar, P., Dhone, S., Dubey, A.S., Shinde, G. & Wate, S. (2011). Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V. **55**, 356–361.
- Manouseli, D., Kayaga, S.M. & Kalawsky, R. (2019). Evaluating the Effectiveness of Residential Water Efficiency Initiatives in England: Influencing Factors and Policy Implications. *Water Resources Management* **33**, 2219–2238.
- Marinoski, A.K. & Ghisi, E. (2019). Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier **144**, 100–114.
- Marinoski, A.K., Rupp, R.F. & Ghisi, E. (2017). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of Environmental Management* Elsevier Ltd **206**, 28–39.
- Martinez, C.J. (2009). *Gray Water Reuse in Florida 1*. <https://edis.ifas.ufl.edu>.
- May, S. (2009a). Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento* **01**, 98–113.

May, S. (2009b). Caracterização , Tratamento E Reúso De Águas Cinzas E Aproveitamento De Águas Pluviais Em Caracterização , Tratamento E Reúso. *Tese de Doutorado* 222.

Meirelles, C.L. de A. & Gomes, L.F.A.M. (2009). O apoio multicritério à decisão como instrumento de gestão do conhecimento: Uma aplicação à indústria de refino de petróleo. *Pesquisa Operacional* **29**, 451–470.

Melville-Shreeve, P., Ward, S. & Butler, D. (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: A multi criteria analysis of system configurations. *Water (Switzerland)* **8**, 18.

MENSAGEM SABESP.

Milano, M., Reynard, E., Köplin, N. & Weingartner, R. (2015). Climatic and anthropogenic changes in Western Switzerland: Impacts on water stress. *Science of the Total Environment* **536**, 12–24.

MMA, M. do M.A., MIN. & WWF. (2017). *Índice De Vulnerabilidade Aos Desastres Naturais Relacionados Às Secas*.

Morales-Pinzón, T., Lurueña, R., Rieradevall, J., Gasol, C.M. & Gabarrell, X. (2012). Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. *Resources, Conservation and Recycling* **69**, 130–140.

Moreira, R. (2007). Análise Multicritério dos Projetos do Sebrae / RJ através do Electre IV.

Negócios, Inter.B.C.I. de. (2016). *Os investimentos em infraestrutura em 2015 e primeiras estimativas para 2016*.

Noori, A., Bonakdari, H., Salimi, A.H. & Gharabaghi, B. (2021). A group Multi-Criteria Decision-Making method for water supply choice optimization. *Socio-Economic Planning Sciences Elsevier Ltd* **77**, 101006.

Noschang, P.G. & Scheleder, A.F.P. (2018). A (in)sustentabilidade hídrica global e o direito humano à água. *Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos* **39**, 119–138.

Oliveira, F.R. De., Águas, C. De. & Sip, S. (2016). Superficiais e Subterrâneos Estrutura da Apresentação.

Oliveira, G. & Ferreira, A. (2017). Saneamento: investimento social de alto impacto. In *Anais do Saneamento: investimento social de alto impacto*.

ONS. (2021a). Escassez Hídrica. <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx>. Acesso em 4 de Setembro de 2021.

ONS. (2021b). DE ATENDIMENTO ELETROENERGÉTICO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - ESTUDO PROSPECTIVO AGOSTO A NOVEMBRO DE 2021 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - ESTUDO.

ONU. (2014). *MANUAL PRÁTICO PARA A REALIZAÇÃO DOS DIREITOS HUMANOS À ÁGUA E AO SANEAMENTO PELA RELATORA ESPECIAL DA ONU, Princípios*.

ONU. (2019). World Population Prospects - Population Division - United Nations. <https://population.un.org/wpp2019/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/76>. Acesso em 30 de Abril de 2020.

ONU. (2020a). Água / ONU Brasil.

ONU. (2020b). Agenda 2030 | ONU Brasil. <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 2 de Julho de 2020.

Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E. & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research Elsevier Ltd* **58**, 92–101.

Oviedo-Ocaña, E.R., Dominguez, I., Ward, S., Rivera-Sanchez, M.L. & Zaraza-Peña, J.M. (2018). Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. *Environmental Science and Pollution Research Environmental Science and Pollution Research* **25**, 19200–19216.

Pacheco, G.C.R. & Campos, M.A.S. (2017). Economic feasibility of rainwater harvesting systems: A systematic literature review. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* **66**, 1–14.

Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L.G. & La Barbera, P. (2012). Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling Elsevier B.V.* **62**, 71–80.

- Paoli, D. & De Moraes, L.A.F. (2011). Apoio multicritério á decisão como subsídio á gestão ambiental: O caso da Aggreko Brasil. *Gestao e Producao* **18**, 379–390.
- Pereira, V.R., Rodriguez, D.A., Coutinho, S.M.V., Santos, D.V. & Marengo, J.A. (2020). Adaptation opportunities for water security in Brazil. *Sustentabilidade em Debate* Universidade de Brasilia **11**, 91–105.
- Pidou, M., Memon, F.A., Stephenson, T., Jefferson, B. & Jeffery, P. (2007). Greywater recycling : A review. *Engineering Sustainability* **160**, 119–131.
- Pinheiro, A., Faht, G. & da Silva, M.R. (2012). Determinação do coeficiente de reaeração em rios através do uso do traçador gasoso GLP. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **17**, 107–116.
- Pinto-Coelho, R. M; Havens, K. (2015). Crise nas águas. <http://flseagrant.ifas.ufl.edu/CriseNasAguas/Chapter2.pdf>. Acesso em 12 de Julho de 2020.
- Proença, L.C., Ghisi, E., Tavares, D.D.F. & Coelho, G.M. (2011). Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale. *Resources, Conservation and Recycling* **55**, 960–965.
- Qatium. (2021). Dia Zero. A crise hídrica que afetou a Cidade do Cabo | Qatium. <https://qatium.com/pt-br/blog/dia-zero/>. Acesso em 8 de Fevereiro de 2023.
- Rashidi Mehrabadi, M.H., Saghafian, B. & Haghghi Fashi, F. (2013). Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. *Resources, Conservation and Recycling Elsevier B.V.* **73**, 86–93.
- Renan, C. (2017). IV-307 - AUTODEPURAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM CURSOS D ' ÁGUAS DE ALTIPLANO. 1–10.
- Rezaei, N., Diaz-Elsayed, N., Mohebbi, S., Xie, X. & Zhang, Q. (2019). A multi-criteria sustainability assessment of water reuse applications: a case study in Lakeland, Florida. *Environmental Science: Water Research and Technology* Royal Society of Chemistry **5**, 102–118.

Rocha Governador Paco Britto, I., Clemente Lara de Oliveira Secretário, A., Lima, J., Dias Guerra Nelson Ferreira Cruz Diretora Administrativa Financeira, J., Amaral Machado, D. & Jahns Schlabit, C. GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL SECRETARIA DE ESTADO DE ECONOMIA DO DISTRITO FEDERAL.

Rocha, N.C.V. & Lima, A.M.M. de. (2019). A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. *Sociedade & Natureza* **32**, 141–160.

Roobahani, R., Schreider, S. & Abbasi, B. (2015). Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. *Environmental Modelling and Software* Elsevier Ltd **64**, 18–30.

ROY, B., VANDERPOOTEN, D. (1996). The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.

Roy, B. & Vanderpooten, D. (1997). An overview on “The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works”. *European Journal of Operational Research* **99**, 26–27.

Rozos, E., Baki, S., Bouziotas, D. & Makropoulos, C. (2011). Exploring the link between urban development and water demand: The impact of water-aware technologies and options. *Urban Water Management: Challenges and Opportunities - 11th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI 2011* **2**,.

SAATY, T.L. (1999). Fundamental of the analytic network process. *ISAHP*.

SABESP. (2015). Relatório da Administração - 2015. *Sabesp* **23**.

SABESP. (2016). Sabesp RI - Relações com Investidores. <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=investidoresnovo&pub=T&db=&docid=AF019D1E6ABFADBD83257E0500723392>. Acesso em 22 de Dezembro de 2020.

SABESP. (2020). *Estratégias resilientes um plano de adaptação às variações climáticas na gestão de recursos hídricos para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo*.

SABESP. (2021). Portal dos Mananciais Sabesp - Situação dos Mananciais. <https://mananciais.sabesp.com.br/Situacao>. Acesso em 4 de Setembro de 2021.

Salomon, V. & Montevechi, J. (2001). A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil. ... *on the Analytic Hierarchy Process, Bern* 413–420.

Sampaio, F.E.O.V. (2013). *Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos. Universidade De Brasília.*

Sant’Ana, A.P., Rabelo, L.M. & Nogueira, H.D. (2012). Comparação entre métodos multicritério em um modelo para avaliação da qualidade de ativos de renda variável. *Revista de Finanças Aplicadas* **1**, 1–21.

Sant’Ana, D. (2006). *Rainwater harvesting in Brazil: investigating the viability of rainwater harvesting for a household in Brasília.*

Sant’Ana, D. (2012). *Domestic Water End-Uses and Water Conservation in Multi-Storey Buildings in the Federal District, Brazil.*

Sant’Ana, D. (2016). *Socioeconomic study of domestic water consumption in the Federal District, Brazil.* Vitória: SBE16 Brazil & Portugal.

Sant’Ana, D., Boeger, L. & Monteiro, L. (2013). Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – parte 2: viabilidade técnica e econômica. *Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo* 85–94.



Sant'Ana, D. & Mazzega, P. (2018). Socioeconomic analysis of domestic water end-use consumption in the Federal District, Brazil. *Sustainable Water Resources Management* Springer Science and Business Media Deutschland GmbH **4**, 921–936.

Sant'Ana, D.R. (2011). *A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings*.

Sant'Ana, D.R. & Medeiros, L.B.P. (2016). *Reúso-DF - Análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de água cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal*.

Santo, E. (2015). Governo ES - Cenário de Alerta no ES devido à pior crise hídrica da história. <https://www.es.gov.br/Notícia/cenario-de-alerta-no-es-devido-a-pior-crise-hidrica-da-historia>. Acesso em 22 de Dezembro de 2020.

Santos, S. & Sant'Ana, D. (2019). Análise do potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na Rodoviária do Plano Piloto de Brasília - DF. *Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo* 84–92.

Santos, V.F. (1991). *Estudo das alternativas para conservação de água no setor residencial da cidade de Limeira-SP*.

Saurí, D. (2013). Water Conservation: Theory and Evidence in Urban Areas of the Developed World. *Annual Review of Environment and Resources* **38**, 227–248.

- Seetaram, N., Song, H., Ye, S. & Page, S. (2018). Estimating willingness to pay air passenger duty. *Annals of Tourism Research Elsevier* **72**, 85–97.
- Shubo, T. (2003). *Sustentabilidade Do Abastecimento E Da Qualidade Da Água Potável Urbana*.
- SIESG. (2017). *GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS*. **2**,.
- Silva, R.C. da. & Freitas, L.D.S. (2016). Diretrizes para a fase de projetos de edificações públicas sob o foco da sustentabilidade ambiental: Estudo de caso de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) de acordo com o sistema de certificação LEED. *Interações (Campo Grande)* Universidade Catolica Dom Bosco.
- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. (2019). *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto*.
- Sood, A. & Ritter, W.F. (2011). Developing a Framework to Measure Watershed Sustainability by Using Hydrological/Water Quality Model. *Journal of Water Resource and Protection* **03**, 788–804.
- SOUZA, M.A.A. (1992). *Methodology for Selection of Wastewater Treatment Processes*. School of Civil Engineering, University of Birmingham.
- Souza, M.A.A., Netto, O. de M.C., Carneiro, G.A. & Juniorj, R.P.L. (2001). Análise Tecnológica de Alternativas para Pós- Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios: Resultados da Avaliação Multiobjetivo. *21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental* **2**, 1–22.
- Tedesco, A.M. (2018a). *Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas por meio dos métodos ahp e topsis*.
- Tedesco, A.M. (2018b). *Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas por meio dos métodos ahp e topsis*.
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W. & Kleidorfer, M. (2017). Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. *Water (Switzerland)* **9**, 28.

- Umapathi, S., Chong, M.N. & Sharma, A.K. (2013). Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: A real-time monitoring study. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd **42**, 204–214.
- UNWater. (2015). *Água Para Um Mundo Sustentável. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos*.
- UNWater. (2018). *RESUMO EXECUTIVO Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 Relatório-síntese 2018 sobre Água e Saneamento*.
- V. Salomon, E. Pamplona, J.M. (1999). JUSTIFICATIVAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA. 17.
- Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M.C. & Montrejaud-Vignoles, M. (2011). Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research* Elsevier Ltd **45**, 3765–3775.
- Vianna, J.T.D. da S. (2017). *Análise de alternativas para conservação de água em edificações residenciais funcionais em Brasília-DF*.
- Vianna, J.T.D. da S. & Souza, M.A.A. (2019). Escolha de alternativas para economia de água em edificações residenciais de Brasília, DF. *Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo* 37–56.
- Vieira, A.S. & Ghisi, E. (2016). Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water and sewerage services. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd **133**, 145–162.
- Vieira, J., Junior, T., Gonçalves, S.A., de Biodiversidade, S., Pedro De Oliveira Costa, J., Leite, A.P., Agência, P., De, N., et al. (2017). *Contas econômicas da água no Brasil*. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br).
- Vieira, P., Jorge, C. & Covas, D. (2015). Novel performance assessment indices for domestic water use. *Procedia Engineering* Elsevier B.V. **119**, 813–819. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.943>.
- Von Sperling, M. (1996). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*.

- Wang, H. jiun., Chen, G. long., Huang, Y. su. & Zeng, Z. teng. (2010). Evaluation of designs for reuse of Japanese style houses in Taiwan. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* **9**, 117–124.
- Willis, R.M., Stewart, R.A., Giurco, D.P., Talebpour, M.R. & Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: Impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production Elsevier Ltd* **60**, 107–115.
- Willis, R.M., Stewart, R.A., Panuwatwanich, K., Williams, P.R. & Hollingsworth, A.L. (2011). Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of Environmental Management Elsevier Ltd* **92**, 1996–2009.
- Worldometer. (2020). Water Use Statistics - Worldometer. <https://www.worldometers.info/water/>. Acesso em 29 de Junho de 2020.
- Yearbook, S. (2019). Anuário Estatístico de Energia Elétrica.
- ZADEH, L.A. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria.
- Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N. & Dublish, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research Elsevier* **107**, 507–529.
- Zarghami, M. & Akbariyeh, S. (2012). System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. *Resources, Conservation and Recycling Elsevier B.V.* **60**, 99–106.
- Zavadskas, E.K., Mardani, A., Turskis, Z., Jusoh, A. & Nor, K.M. (2016). *Development of TOPSIS Method to Solve Complicated Decision-Making Problems - An Overview on Developments from 2000 to 2015. International Journal of Information Technology and Decision Making.*
- Zhang, Y., Chen, D., Chen, L. & Ashbolt, S. (2009). Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. *Journal of Environmental Management Elsevier Ltd* **91**, 222–226.

Zuffo, A., Reis, L., SANTOS, R. & CHAUDHRY, F. (2002). Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 7, 81–102.

## 7. APÊNDICE A – EFICIÊNCIA ETE

Neste apêndice estão os valores de DBO, vazão e eficiência das ETE do DF, relativas ao ano de 2014, cujos dados são do SIESG (2017), exibidos nas Tabela 73 a Tabela 86.

Todas as ETE tiveram uma aproximação do resultado teórico com o real muito próximos, exceção as ETE com erro mediano acima de 5%: Planaltina, Melchior e Paranoá. Entretanto, considerando a eficiência da remoção de DBO e suas consequências para o rio, esta discrepância não afeta os resultados do método. Outro ponto é que estes erros acabam não sendo relevantes devido ao processamento dos resultados pelo MMC.

### 7.1 ETE PLANALTINA (REATOR ANAERÓBICO)

*Tabela 73- Dados de operação da ETE PLANALTINA*

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
342.553	547	94,60	100
295.549	360	92,70	100
342.625	640	95,40	100
312.822	476	91,40	100
303.842	450	92,30	100
276.526	335	88,50	100
271.442	444	86,00	100
274.419	670	89,10	100
277.083	620	90,00	100
334.755	635	90,10	100
314.822	715	90,80	100
313.921	584	92,70	100
305.030	540	91,10	100

Fonte: SIESG (2017)

### 7.2 ETE BRASÍLIA SUL (REMOÇÃO BIOLÓGICA)

*Tabela 74- Dados de operação da ETE BRASÍLIA SUL*

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
3.426.709	264	95,20	94,0
2.945.251	280	95,70	95,2
3.347.995	347	95,80	88,8
3.168.096	268	93,40	94,9
2.837.546	330	93,50	92,7
2.607.950	336	94,20	94,4
2.476.919	360	94,90	94,8
2.603.531	408	92,20	91,9
2.605.053	400	88,30	92,1
2.712.551	356	79,80	92,6
3.001.499	340	90,50	91,1
3.321.434	285	87,90	92,6
2.921.211	331	91,80	92,1

Fonte: SIESG (2017)

### 7.3 ETE BRASÍLIA NORTE (REMOÇÃO BIOLÓGICA)

Tabela 75- Dados de operação da ETE BRASÍLIA NORTE

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
1.368.121	270	97,50	100
1.221.284	258	95,80	100
1.374.940	200	95,20	100
1.287.118	350	96,80	100
1.277.604	373	97,70	100
1.127.428	285	96,60	100
1.164.184	405	95,40	100
1.168.700	332	95,30	100
1.197.376	313	95,20	100
1.254.648	250	96,20	100
1.260.292	460	97,80	100
1.326.892	253	96,60	100
1.252.382	312	96,30	100

Fonte: SIESG (2017)

### 7.4 ETE GAMA (REATOR ANAERÓBICO)

Tabela 76- Dados de operação da ETE GAMA

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
636.147	364	97,80	97,9
522.338	400	98,00	98,5
588.385	364	97,70	98,0
549.537	355	98,00	98,1
547.875	400	99,00	98,4
534.710	408	98,70	98,5
451.853	325	98,60	98,3
479.467	255	96,60	97,0
492.014	345	97,20	98,2
535.149	350	98,40	98,1
548.448	285	96,00	97,3
637.609	224	95,90	95,6
543.628	340	97,70	98,0

Fonte: SIESG (2017)

## 7.5 ETE MELCHIOR (REATOR ANAERÓBICO)

*Tabela 77- Dados de operação da ETE MELCHIOR*

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
2.432.148	348	95,60	100
2.119.813	367	94,20	100
2.567.666	368	92,70	100
2.326.113	387	93,90	100
2.230.084	340	85,30	100
2.009.441	336	88,80	100
2.220.134	285	86,40	100
1.945.799	310	88,20	100
2.098.165	395	90,00	100
2.483.659	330	93,80	100
2.280.312	327	95,10	100
2.407.828	213	91,60	100
2.260.097	334	91,30	100

Fonte: SIESG (2017)

## 7.6 ETE SOBRADINHO (LODO ATIVADO)

*Tabela 78- Dados de operação da ETE SOBRADINHO*

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
317.434	356	81,80	83,5
220.063	410	81,60	86,1
296.340	420	80,40	87,2
360.088	415	87,50	87,3
324.389	340	83,20	82,2
273.257	425	91,30	87,3
285.101	435	86,90	87,8
293.502	475	90,10	89,3
193.488	530	89,30	89,6
212.018	460	87,60	88,0
225.549	415	87,70	86,4
262.723	300	77,30	77,3
271.996	415	85,40	86,9

Fonte: SIESG (2017)



## 7.7 ETE BRAZLÂNDIA (LAGOA ANAERÓBIA)

Tabela 79- Dados de operação da ETE BRAZLÂNDIA

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
135.375	320	82,20	76,5
116.530	520	85,60	86,0
132.253	505	86,40	86,8
126.564	640	90,20	88,9
119.375	650	89,20	88,5
111.406	713	91,40	88,4
106.071	770	91,40	88,3
116.258	650	89,60	88,2
115.488	833	89,80	89,7
122.345	640	85,20	88,6
116.636	750	88,70	89,2
134.073	450	87,60	85,2
121.031	620	88,10	88,2

Fonte: SIESG (2017)

## 7.8 ETE PARANOÁ (REATOR ANAERÓBICO)

Tabela 80- Dados de operação da ETE PARANOÁ

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
223.680	525	72,40	88,6
207.481	495	76,30	85,9
211.527	560	71,40	91,0
212.289	595	71,80	93,1
211.103	NA	NA	NA
193.252	810	75,60	99,9
194.107	640	74,20	95,1
202.146	713	70,60	97,6
191.193	585	59,80	92,6
214.729	532	66,50	89,1
210.249	585	67,10	92,6
242.572	530	67,00	89,0
209.527	597	70,30	93,2

Fonte: SIESG (2017)

## 7.9 ETE SAMAMBAIA (REATOR ANAERÓBICO)

*Tabela 81- Dados de operação da ETE SAMAMBAIA*

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
1.144.769	432	97,80	97,8
831.342	480	97,40	98,3
939.861	440	97,70	98,0
1.018.463	440	98,80	97,9
959.946	630	98,70	98,5
933.695	375	97,90	97,6
826.361	440	96,00	98,2
1.130.230	540	97,90	98,2
869.862	720	99,00	98,8
941.409	713	98,50	98,7
921.720	640	99,10	98,6
1.439.292	590	98,40	98,1
996.413	537	98,10	98,3

Fonte: SIESG (2017)

## 7.10 ETE SANTA MARIA (REATOR ANAERÓBICO)

*Tabela 82- Dados de operação da ETE SANTA MARIA*

<b>Vazão (m³/mês)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>Eficiência inferida (%)</b>
146.708	688	95,30	100,0
130.272	717	95,10	100,0
143.250	588	96,20	100,0
140.844	688	97,30	100,0
125.804	800	97,40	100,0
113.380	650	96,80	100,0
114.556	860	97,20	100,0
116.167	725	96,80	100,0
102.781	733	96,10	100,0
116.469	700	98,10	100,0
109.649	700	98,70	100,0
144.826	650	97,50	100,0
125.392	708	96,90	100,0

Fonte: SIESG (2017)

## 7.11 ETE ALAGADO (REATOR ANAERÓBICO)

Tabela 83- Dados de operação da ETE ALAGADO

Vazão (m <sup>3</sup> /mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)
249.695	725	97,10
167.797	567	94,40
224.923	625	96,90
221.377	610	96,60
208.256	725	97,10
200.087	738	96,70
213.968	790	96,10
278.169	638	97,30
296.471	813	97,60
239.184	625	97,80
235.751	650	97,20
264.543	675	97,90
233.352	682	96,90

Fonte: SIESG (2017)

## 7.12 ETE RECANTO DAS EMAS (REATOR ANAERÓBICO)

Tabela 84- Dados de operação da ETE RECANTOS DAS EMAS

Vazão (m <sup>3</sup> /mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
460.382	633	95,10	92,4
384.904	560	94,60	92,7
439.549	660	94,90	93,2
420.347	640	91,90	93,4
403.708	650	93,10	94,0
366.085	785	94,90	96,8
380.322	485	93,00	90,4
436.830	484	86,20	88,7
450.478	455	85,40	87,1
462.711	484	89,00	88,2
476.579	560	88,00	90,5
519.872	560	91,10	89,8
433.481	580	91,40	91,8

Fonte: SIESG (2017)

### 7.13 ETE RIACHO FUNDO (REMOÇÃO BIOLÓGICA)

Tabela 85- Dados de operação da ETE RIACHO FUNDO

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
153.226	348	97,30	100,0
132.100	740	98,90	99,8
145.938	380	98,40	100,0
143.611	490	97,20	100,0
132.729	430	97,00	100,0
121.483	450	97,80	100,0
116.636	584	98,30	100,0
118.187	490	99,20	100,0
117.773	490	98,50	100,0
133.879	512	98,60	100,0
133.612	480	98,50	100,0
155.400	407	97,30	100,0
133.715	483	98,10	100,0

Fonte: SIESG (2017)

### 7.14 ETE SÃO SEBASTIÃO (REATOR ANAERÓBICO)

Tabela 86- Dados de operação da ETE SÃO SEBASTIÃO

Vazão (m³/mês)	DBO (mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência inferida (%)
314.344	500	85,00	99,0
310.029	430	95,00	100,0
337.354	580	90,90	96,3
340.537	516	92,60	98,4
327.109	700	85,70	93,9
300.112	540	97,20	97,5
305.829	525	90,20	98,1
336.993	490	NA	99,4
350.621	532	85,00	97,8
325.223	600	91,90	95,9
338.990	530	85,80	97,9
368.957	460	95,10	100,0
329.675	534	90,40	97,8

Fonte: SIESG (2017)

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS

### 7.15 QUESTIONÁRIO INICIAL

#### **Análise do impacto ambiental e financeiro das tecnologias de conservação de água sobre as estações de tratamento de esgoto**

Este questionário faz parte de uma pesquisa de doutorado da Universidade de Brasília, que realiza uma análise do impacto ambiental e financeiro das tecnologias de conservação de água sobre as estações de tratamento de esgoto (ETE). A pesquisa está sendo desenvolvida na Universidade de Brasília.

As perguntas têm por objetivo avaliar o grau de importância de cada tema citado de acordo com o respondente. Findo o questionário, será possível atribuir pesos a cada tema, permitindo comparação entre as diversas alternativas de conservação de água por meio de um método multicritério. A aplicação do método em questão permitirá hierarquizar as alternativas de conservação de água, facilitando o estudo dos potenciais de cada uma, assim como o estudo das suas desvantagens.

Todas as informações coletadas serão tratadas de forma sigilosa. Para maiores informações, não hesite em me contactar ([jorge@thiago.us](mailto:jorge@thiago.us))

1 - Qual a sua formação?

Escolha uma das seguintes respostas: Graduado, Técnico, Pós-graduado, Mestre, Doutor

2- Qual grau de importância você atribui à redução da exploração de recursos hídricos por meio do emprego das tecnologias de conservação de água em edificações? Às vezes importante, Moderado, Importante, Muito importante e Sem resposta

3- As tecnologias de conservação de água podem alterar a vazão e a DBO do esgoto de entrada na ETE e, por consequência, também do seu lançamento nos rios. Considerando essa informação, qual importância você atribui à possível variação da DBO em um rio? Às vezes importante, Moderado, Importante, Muito importante e Sem resposta

4- Considerando as classes das águas definidas na portaria nº357 do CONAMA, você acredita que um corpo hídrico possa ter seu enquadramento modificado em

função do novo lançamento das ETE em decorrência da implantação de alternativas de conservação de água? Sim, Não ou Sem resposta

5- As tecnologias de conservação de água podem alterar a vazão e a eficiência dos reatores das ETE, o que altera os custos de tratamento do esgoto antes do lançamento nos rios. Considerando essa informação, qual grau de importância você atribui ao custo do tratamento do esgoto? Às vezes importante, Moderado, Importante, Muito importante e Sem resposta

6- A implantação das tecnologias de conservação de água pode diminuir o faturamento da concessionária de saneamento. Isso ocorre em função da diminuição da receita de água e aumento dos custos com tratamento, em função do volume de esgoto não faturado. Diante disso, qual grau de importância você atribui à necessidade de a concessionária manter seu equilíbrio financeiro, ou seja, receitas maiores que suas despesas? Às vezes importante, Moderado, Importante, Muito importante e Sem resposta

7- A implantação das tecnologias de conservação de água pode provocar uma ociosidade parcial no sistema de tratamento de água da concessionária de saneamento. Assim, quando do aumento populacional (demanda) será necessário um menor investimento da concessionária. Diante disto, qual o grau de importância que você atribui a esta ampliação da capacidade de atendimento populacional da concessionária de saneamento? Às vezes importante, Moderado, Importante, Muito importante e Sem resposta

Todos nós usufruímos dos serviços prestados pelas concessionárias de saneamento. Assim, como consequência da implantação das tecnologias de conservação de água, qual o percentual máximo que você aceitaria nos itens abaixo? Insira um número sem casas decimais.

8- Em sua opinião, qual o aumento percentual máximo aceitável da tarifa de água e esgoto em função da implantação de alternativas de conservação de água?

9-Em sua opinião, qual o comprometimento máximo aceitável da sua renda familiar com a fatura de água e esgoto?

10- Em sua opinião, qual seria o comprometimento máximo do salário-mínimo com a fatura de água e esgoto?

Considerando nosso viés como cidadãos, que cuidam do meio ambiente e colaboram para o desenvolvimento sustentável, qual o valor máximo que você pensaria em alocar nos itens abaixo:

11- Um investimento inicial para implantação de alternativas de conservação de água em sua residência?

12- Em quantos anos você esperaria/gostaria ter o valor do investimento retornado?

## 7.16 QUESTIONÁRIO COMPLEMENTAR

Análise do impacto ambiental e financeiro da conservação de água sobre as estações de tratamento de esgoto em grandes cidades

Este questionário faz parte de uma pesquisa da Universidade de Brasília, que realiza a análise estudos do impacto ambiental e financeiro das tecnologias de conservação de água em edificações.

Para fins desta pesquisa, o termo tecnologia de conservação de água desta pesquisa refere-se a métodos que visam reduzir o consumo de água, como: aproveitamento da água de chuva, reúso de água e uso de equipamentos economizadores de água (como torneiras automáticas, arejadores, caixa acoplada, redutor de vazão, etc.)

O registro de suas respostas não contém nenhuma informação de identificação sobre você, a não ser que uma pergunta específica da pesquisa explicitamente solicitou.

Se você usou um código de identificação para acessar esta pesquisa, por favor, tenha a certeza de que esse código não será armazenado junto com suas respostas. Ele é armazenado em uma base de dados separada e será atualizado apenas para indicar se você completou (ou não) a pesquisa e não há nenhuma maneira de relacionar os códigos de identificação com suas respostas.

1- Qual seu grau de escolaridade? Graduado, Técnico, Pós-graduado, Mestre, Doutor

2- Qual sua renda familiar? 20.900,01 ou mais, R\$ 10.450,01 a R\$ 20.900,00, R\$ 4.180,01 a R\$ 10.450,00, R\$ 2.090,01 a R\$ 4.180,00, Até R\$2.090,00 e Sem resposta

Você foi convidado a participar de um grupo que vai implantar as alternativas de conservação de água abaixo:

\*Uso de economizadores de água (arejadores, torneiras e chuveiros temporizados, restritores de vazão e válvulas reguladoras de pressão)

\*Aproveitamento da água de chuva

\*Reúso de água cinza (uso da água proveniente do chuveiro e lavanderia)

3- Quais das perguntas abaixo você faria primeiro? Coloque-as em ordem. Basta arrastar para a coluna em branco.

Quanto vou gastar para instalar?

Vai modificar o valor da minha conta de água?

Em quanto tempo recupero meu dinheiro?

Quero experimentar estas alternativas? Estou disposto a inovar?

Vai diminuir o consumo de água do Planeta?

Vai melhorar a qualidade da água dos rios?



## 8. APÊNDICE C – RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS

### 8.1 QUESTIONÁRIA INICIAL

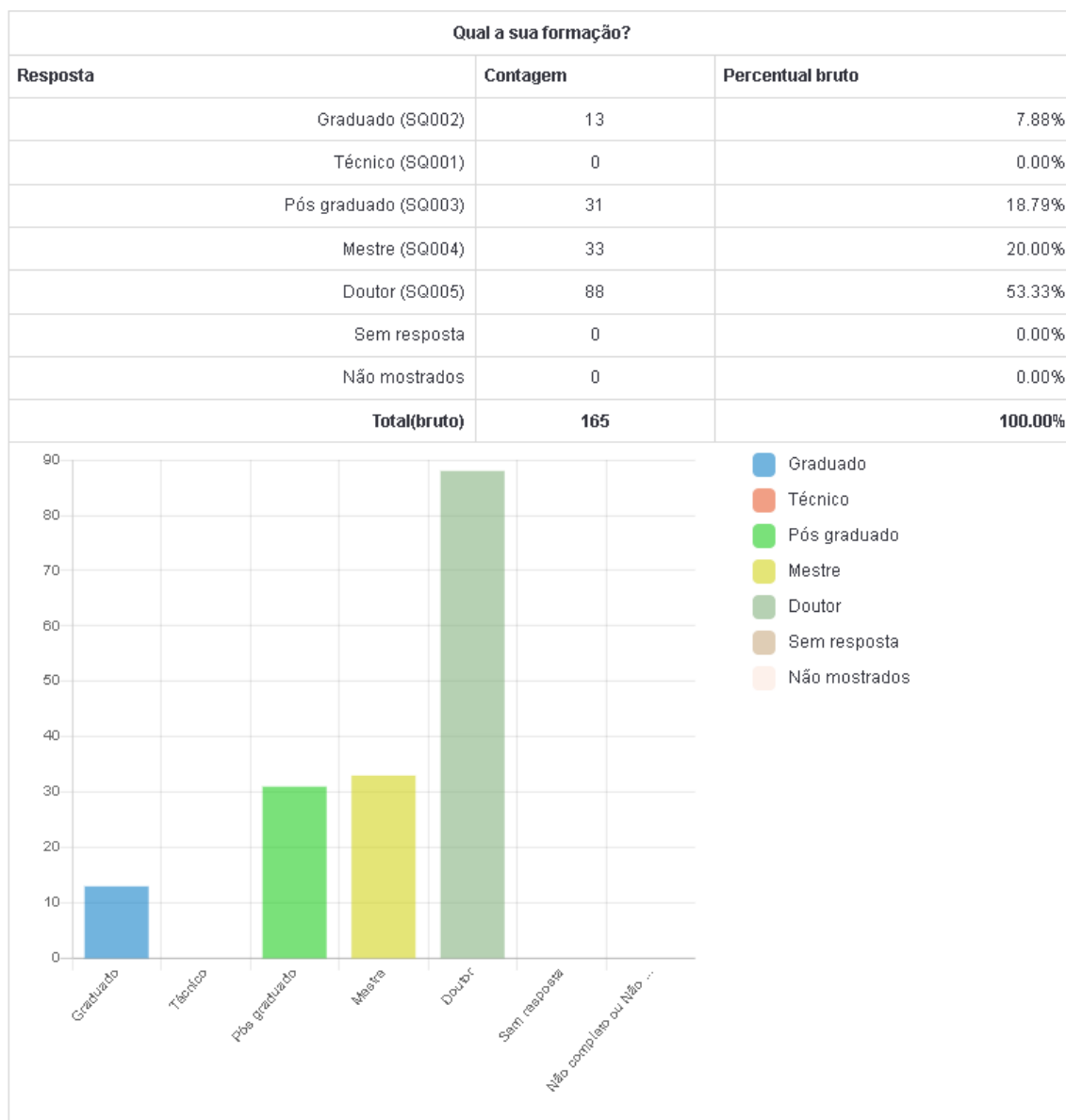


Figura 26- Resumo das respostas da pergunta número 1 do 1º questionário

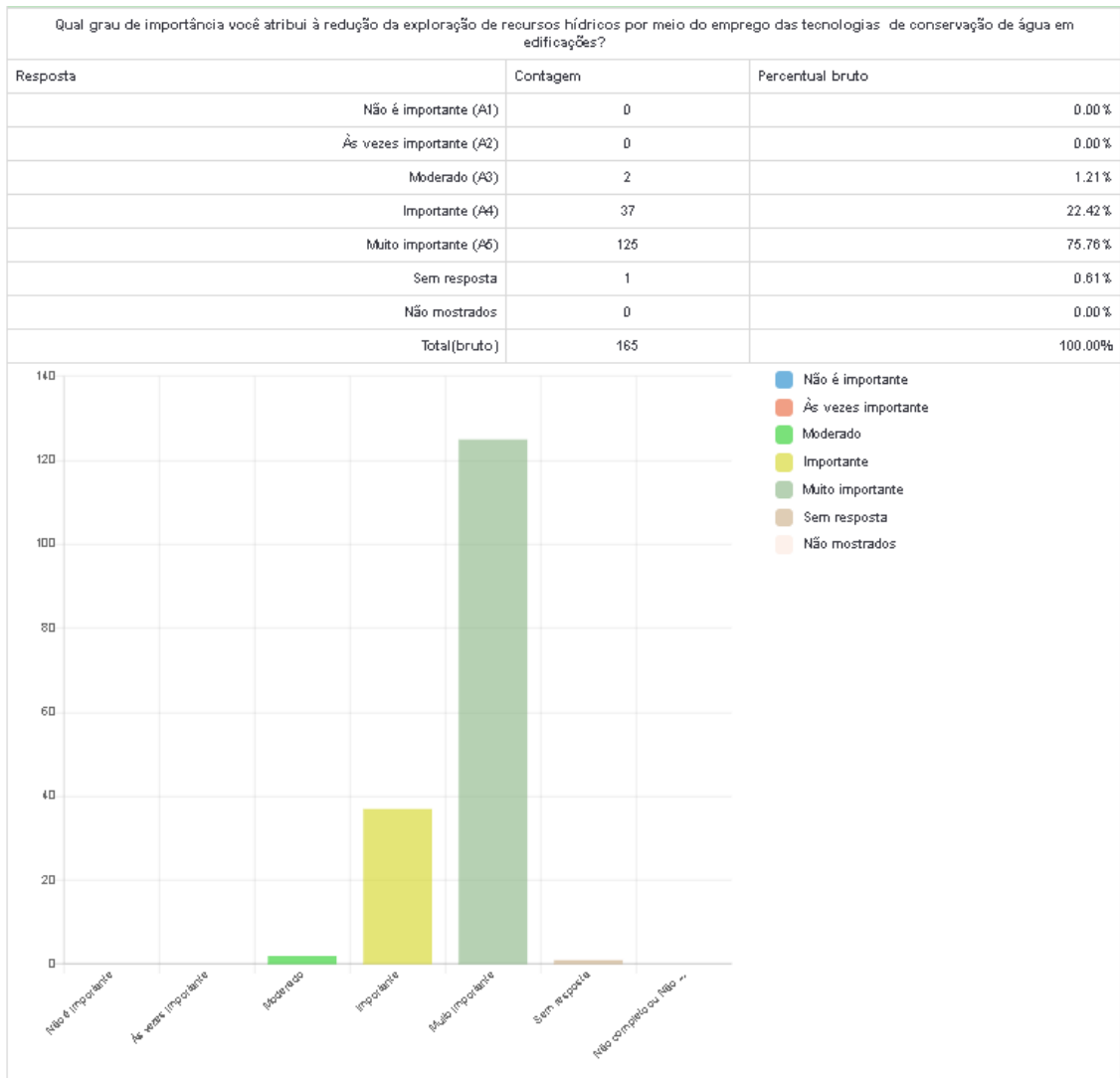


Figura 27- Resumo das respostas da pergunta número 2 do 1º questionário

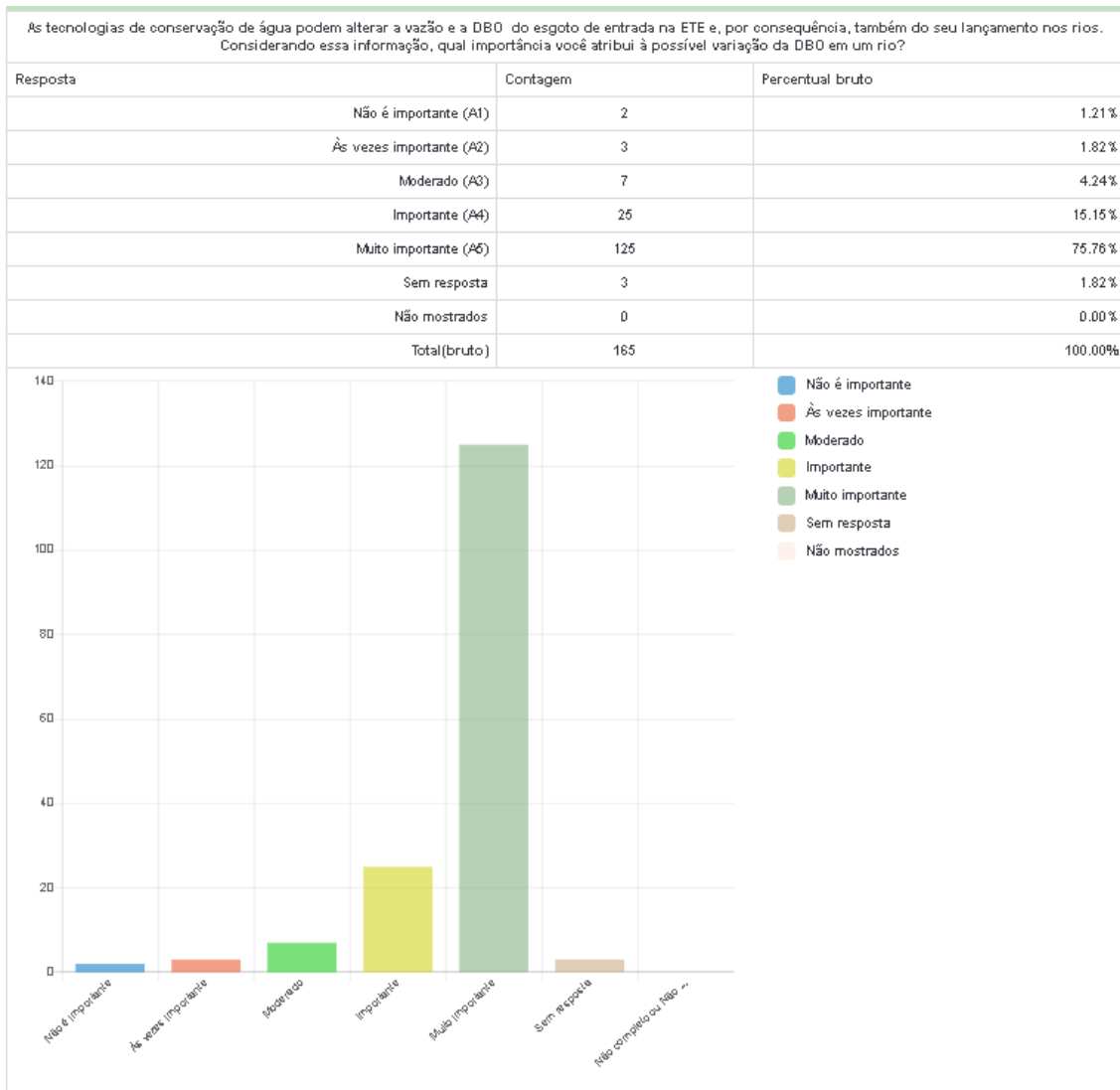


Figura 28- Resumo das respostas da pergunta número 3 do 1º questionário



Figura 29- Resumo das respostas da pergunta número 4 do 1º questionário

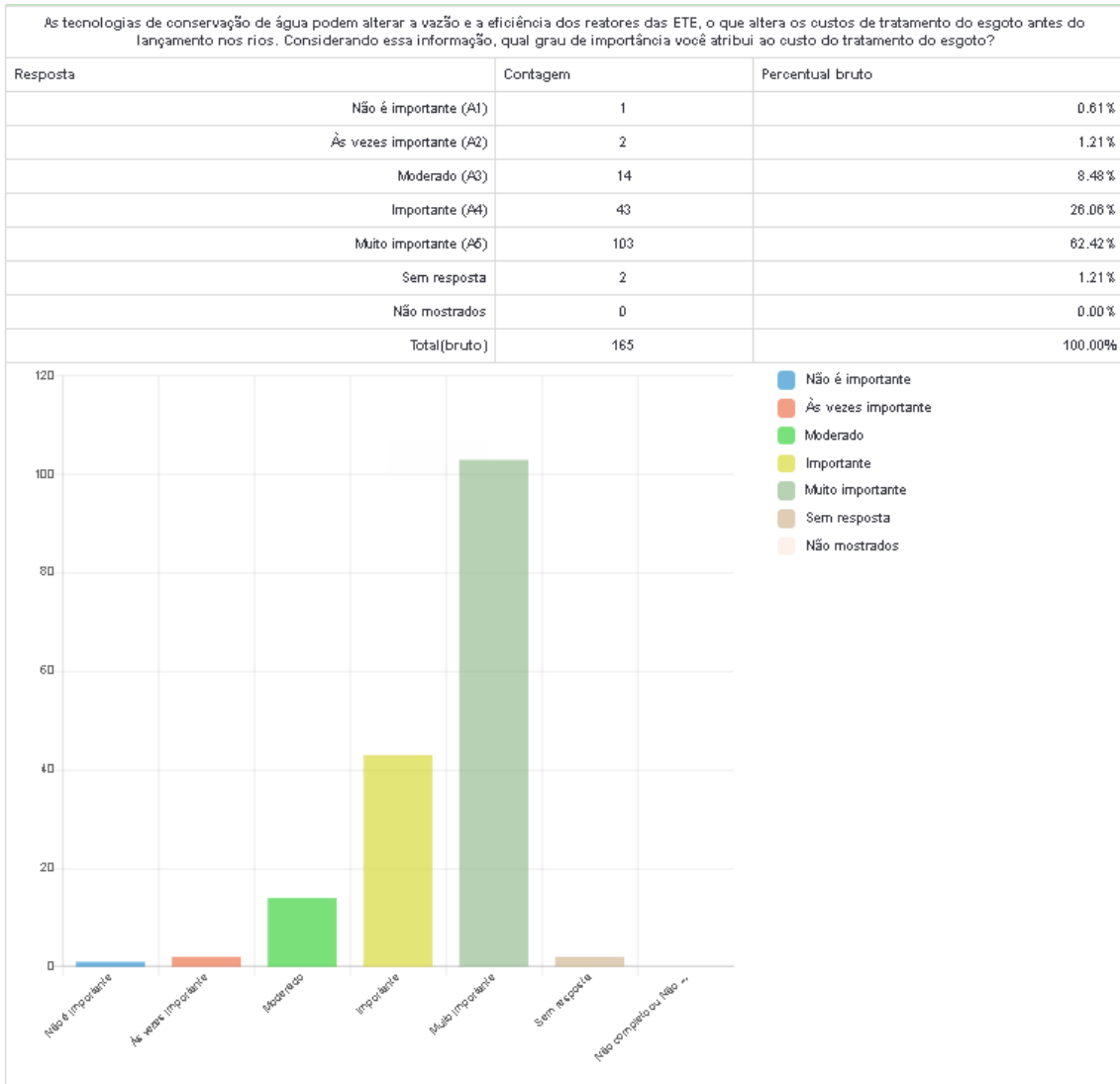


Figura 30- Resumo das respostas da pergunta número 5 do 1º questionário

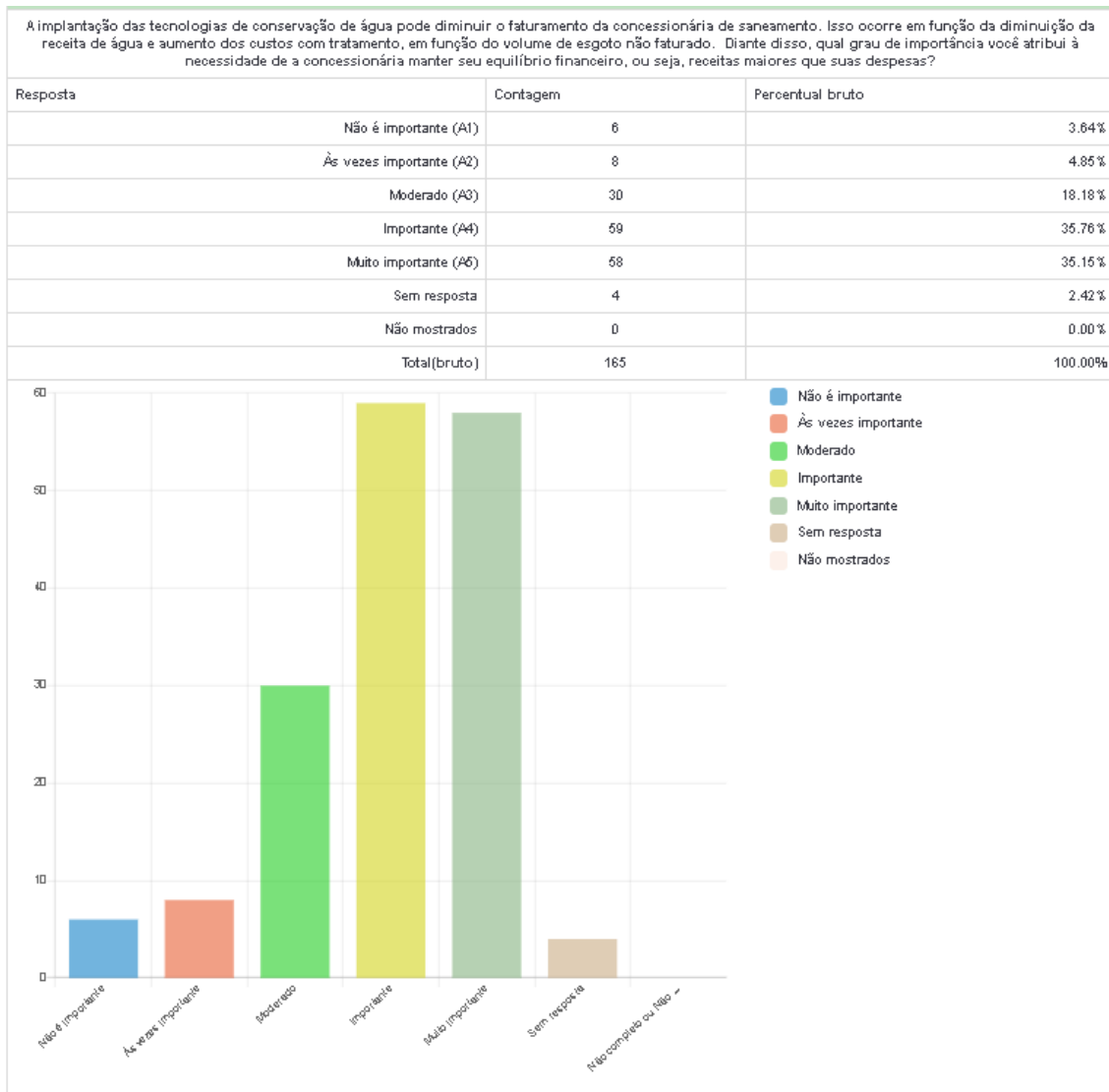


Figura 31- Resumo das respostas da pergunta número 6 do 1º questionário

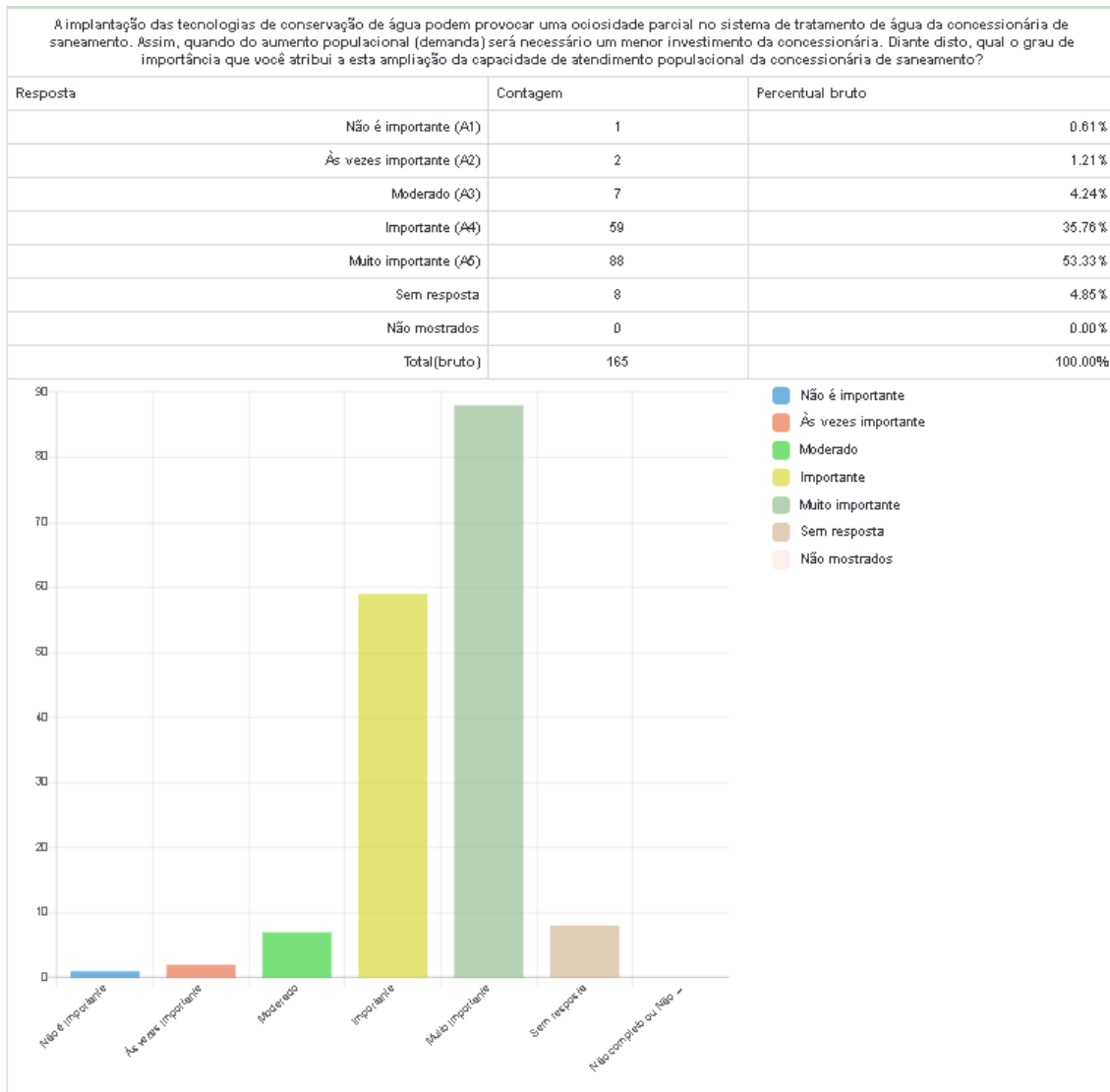


Figura 32- Resumo das respostas da pergunta número 7 do 1º questionário



Figura 33- Resumo das respostas da pergunta número 8 do 1º questionário

Em sua opinião, qual o comportamento mínimo aceitável de sua rede familiar com a altura da água e o vazão?

Opção	Resultado
Ótima	166
Bom	100730000
Comprovação	572
Má	819
Péssimo	200000
Faltando quantidade	05
Seguindo quantidade	1
Teve quantidade	2
Não sabe	20000000

Figura 34- Resumo das respostas da pergunta número 9 do 1º questionário

Em sua opinião, qual seria o comportamento mínimo do sistema mínimo com a altura da água e o vazão?

Opção	Resultado
Ótima	82
Bom	20000000
Comprovação	200
Má	250
Péssimo	1000000
Faltando quantidade	1
Seguindo quantidade	3
Teve quantidade	2
Não sabe	1000000

Figura 35- Resumo das respostas da pergunta número 10 do 1º questionário

Em sua opinião, qual a importância de saber sobre o consumo de água em sua residência?

Opção	Resultado
Ótima	122
Bom	222000000
Comprovação	20000
Má	10000
Péssimo	1000000
Faltando quantidade	22
Seguindo quantidade	100
Teve quantidade	200
Não sabe	200000000

Figura 36- Resumo das respostas da pergunta número 11 do 1º questionário

Em sua opinião, qual a importância de saber sobre a importância de saber sobre?

Opção	Resultado
Ótima	122
Bom	200000000
Comprovação	200
Má	100
Péssimo	1000000
Faltando quantidade	2
Seguindo quantidade	2
Teve quantidade	5
Não sabe	20000000

Figura 37- Resumo das respostas da pergunta número 12 do 1º questionário



## 8.2 QUESTIONÁRIO COMPLEMENTAR

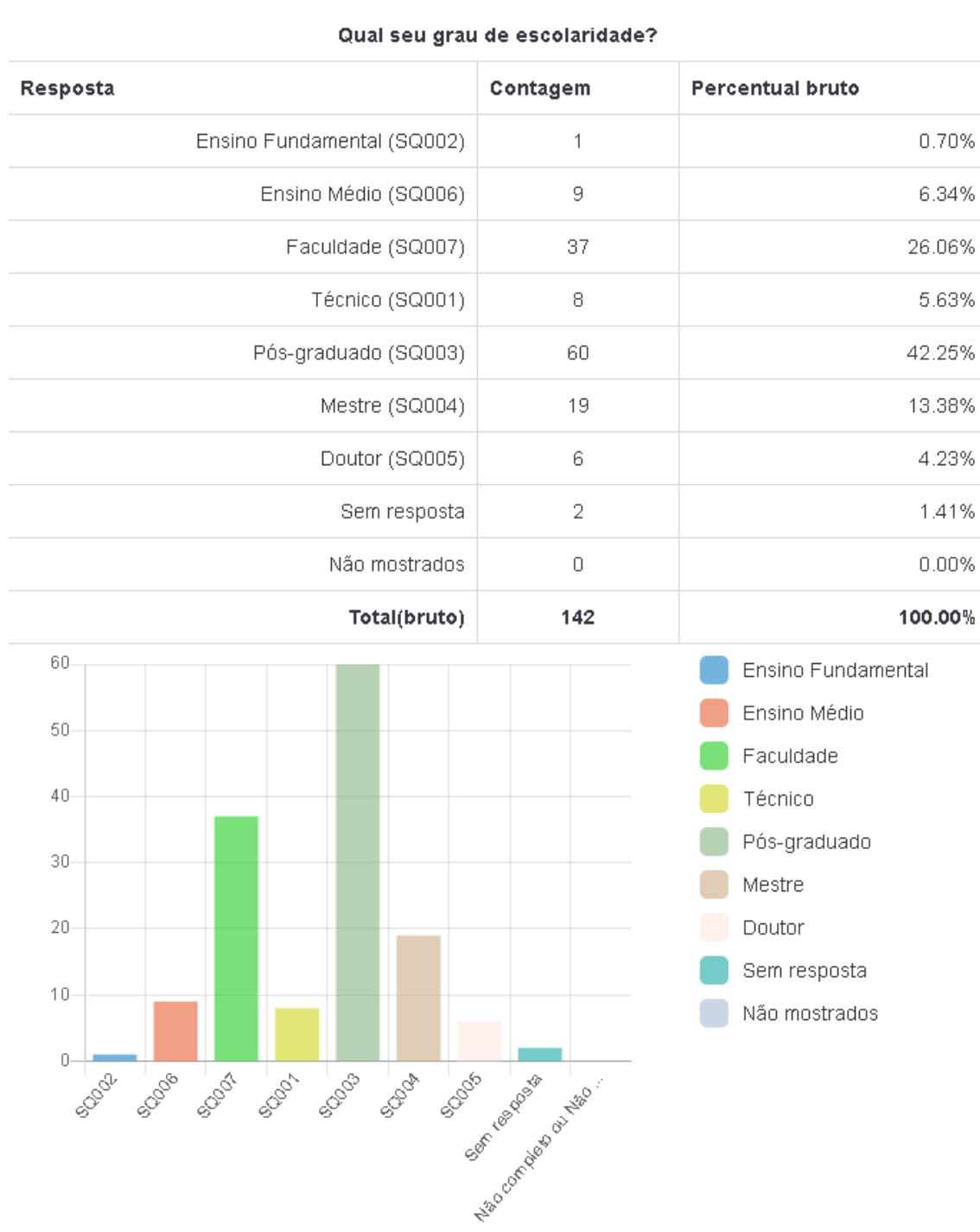


Figura 38- Resumo das respostas da pergunta número 1 do 2º questionário

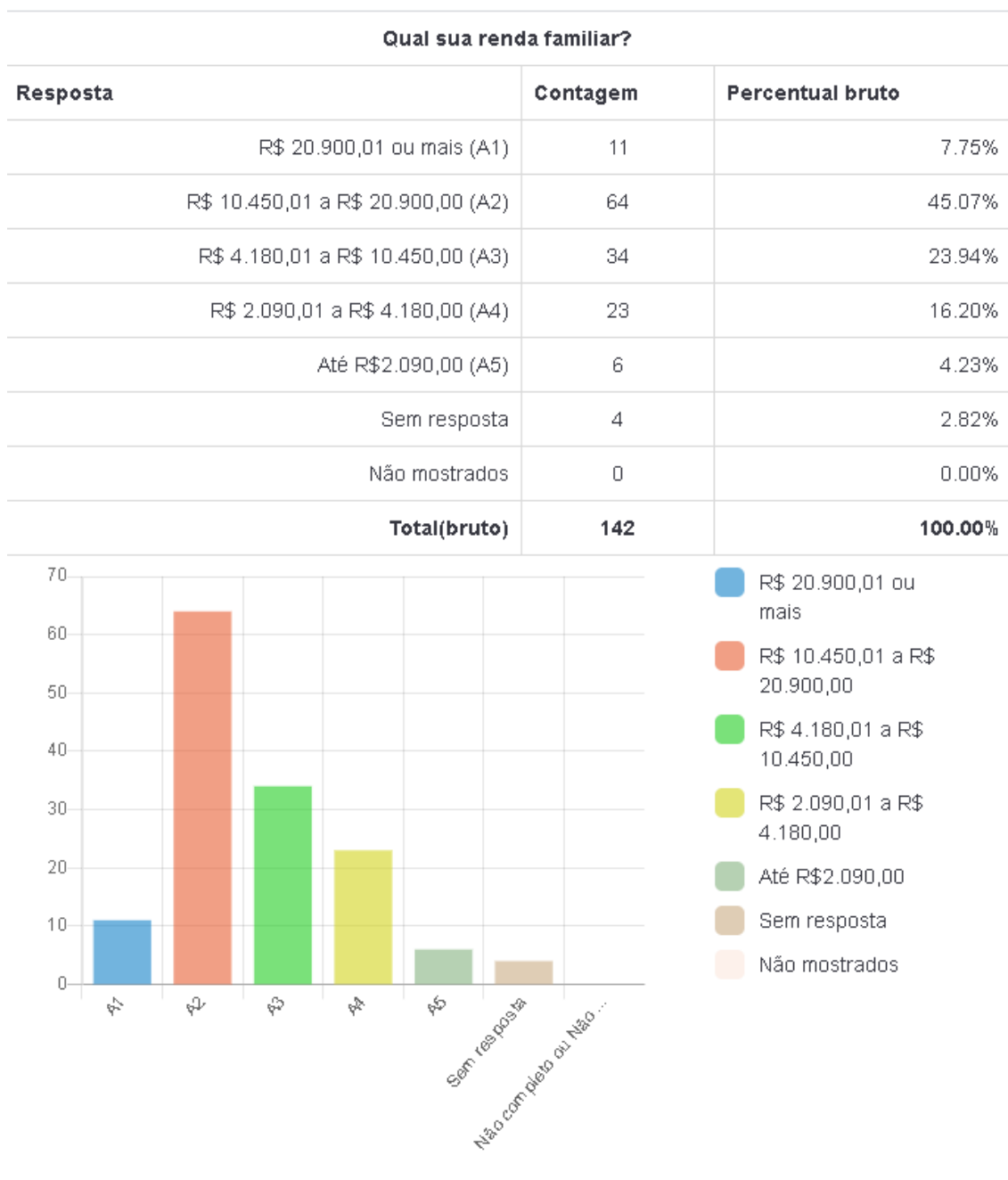


Figura 39- Resumo das respostas da pergunta número 2 do 2º questionário

Você foi convidado a participar de um grupo que vai implantar as alternativas de conservação de água abaixo: \*Uso de economizadores de água (arejadores, torneiras e chuveiros temporizados, restritores de vazão e válvulas reguladoras de pressão) \*Aproveitamento da água de chuva \*Reúso de águas cinzas (uso da água proveniente do chuveiro e lavanderia) Quais perguntas você faria primeiro? Coloque-as em ordem. Basta arrastar para a coluna em branco[Classificação 1]

Resposta	Contagem	Percentual bruto
Quanto vou gastar para instalar? (A1)	57	40.14%
Vai modificar o valor da minha conta de água? (A2)	17	11.97%
Em quanto tempo recupero meu dinheiro? (A3)	12	8.45%
Quero experimentar estas alternativas?Estou disposto a inovar? (A4)	19	13.38%
Vai diminuir o consumo de água do Planeta? (A5)	17	11.97%
Vai melhorar a qualidade da água dos rios? (A7)	16	11.27%
Não mostrados	4	2.82%
<b>Total(bruto)</b>	<b>142</b>	<b>100.00%</b>

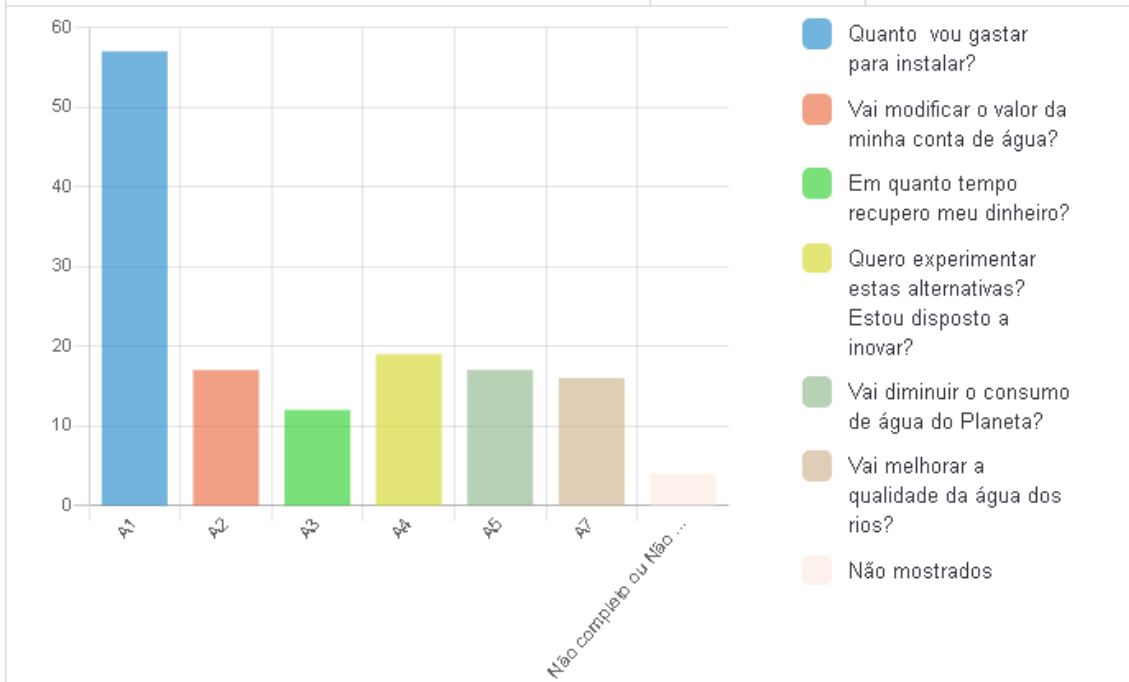


Figura 40- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Primeira posição - do 2º questionário

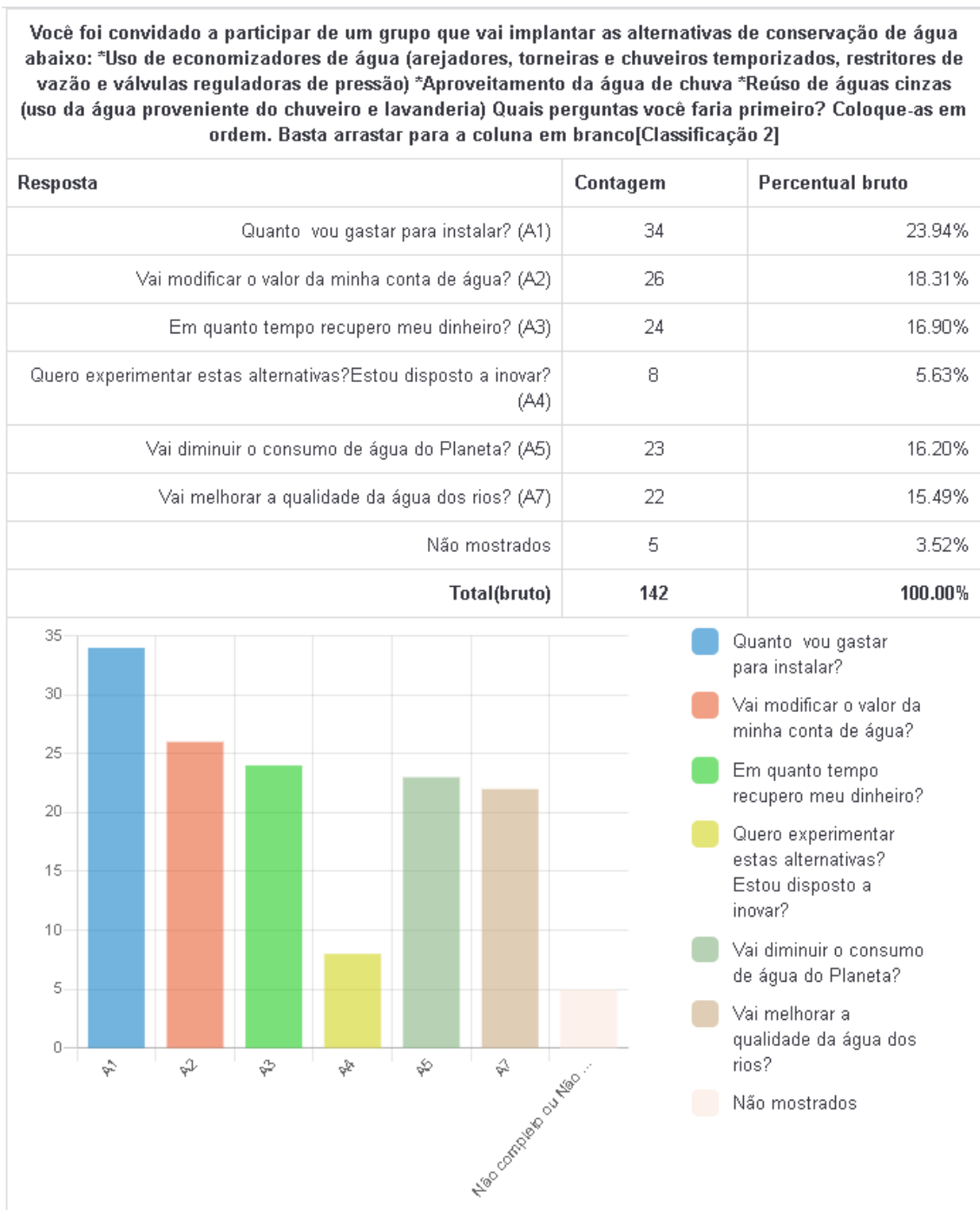


Figura 41- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Segunda posição - do 2º questionário

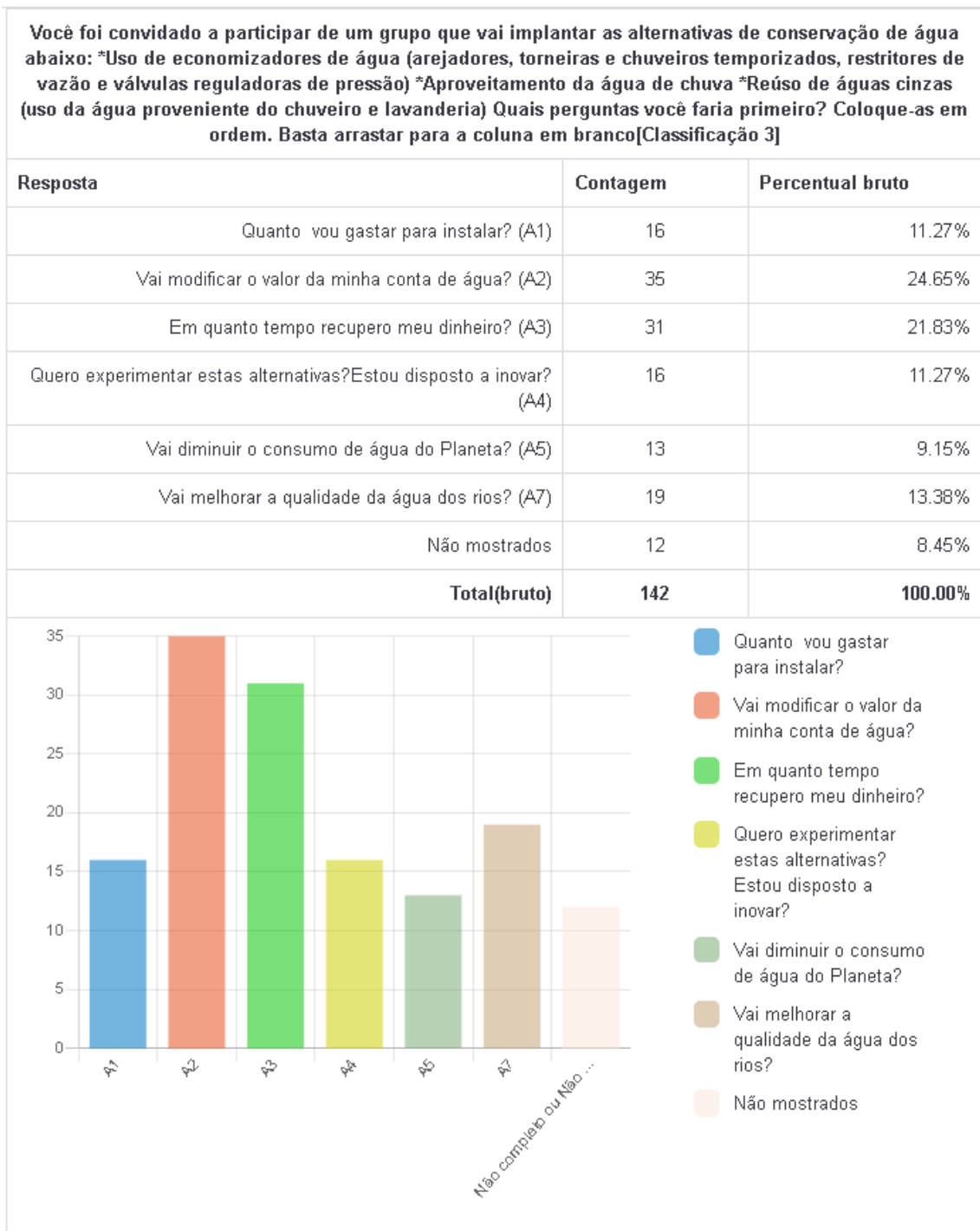


Figura 42- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Terceira posição - do 2º questionário

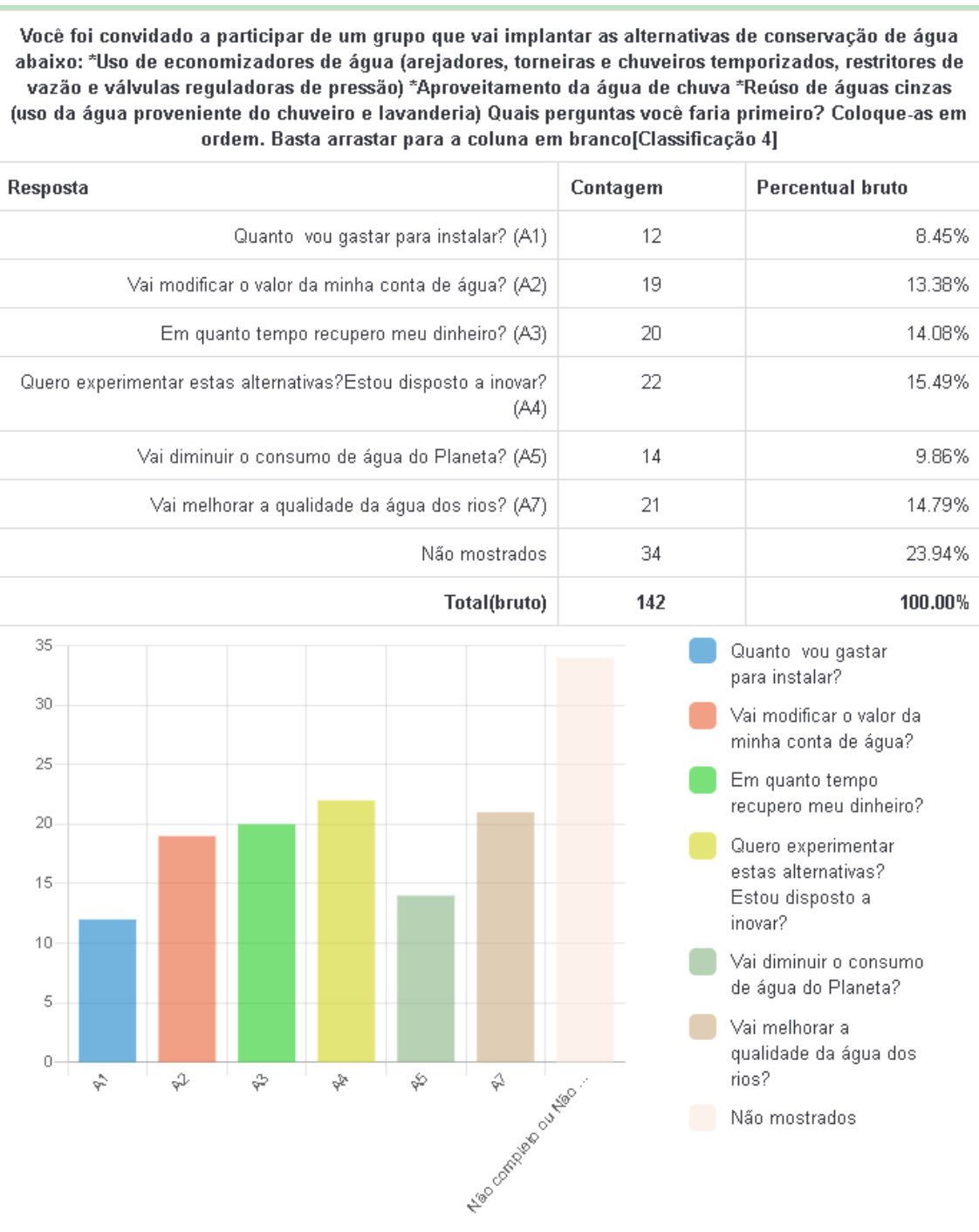


Figura 43- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Quarta posição - do 2º questionário

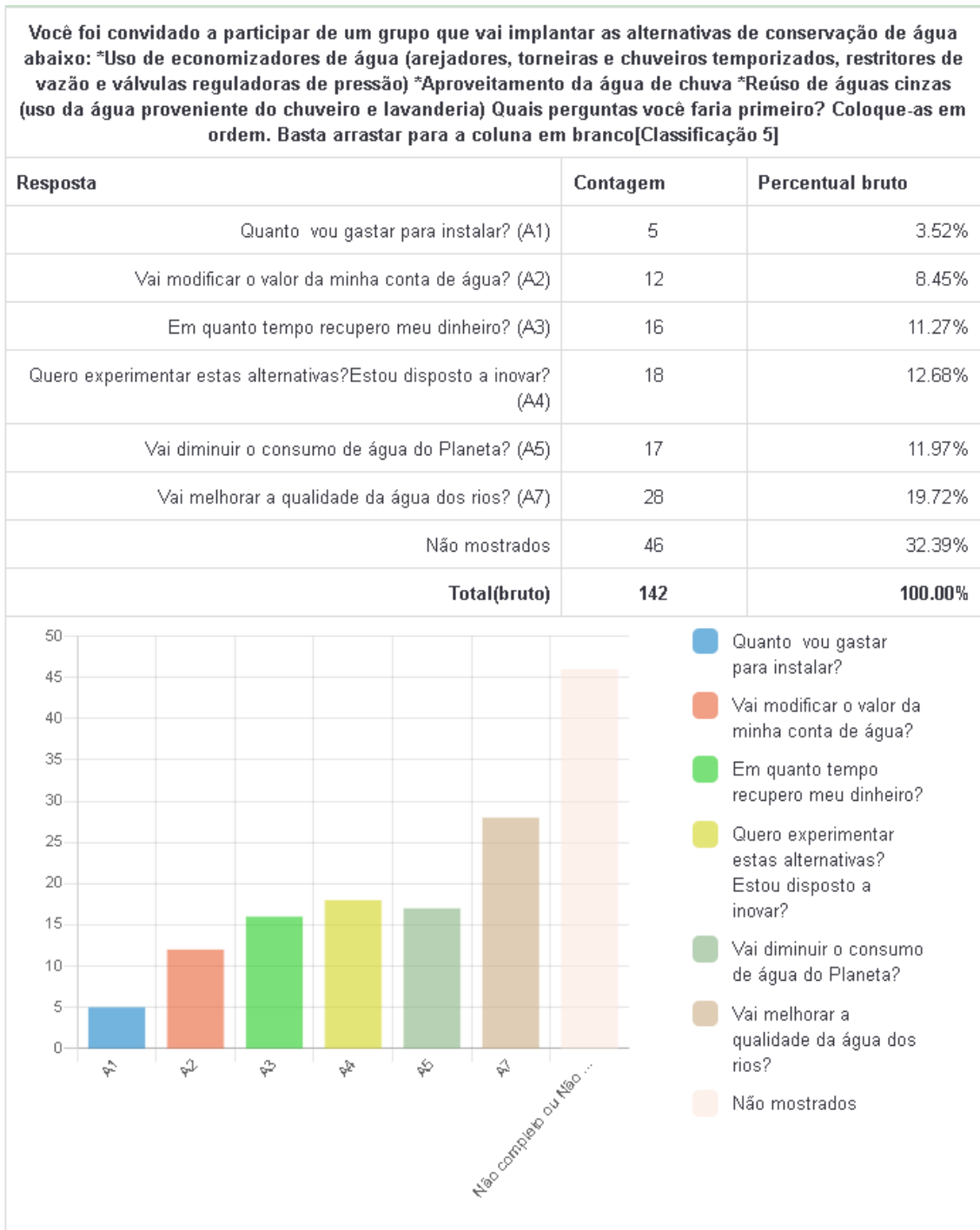


Figura 44- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Quinta posição - do 2º questionário

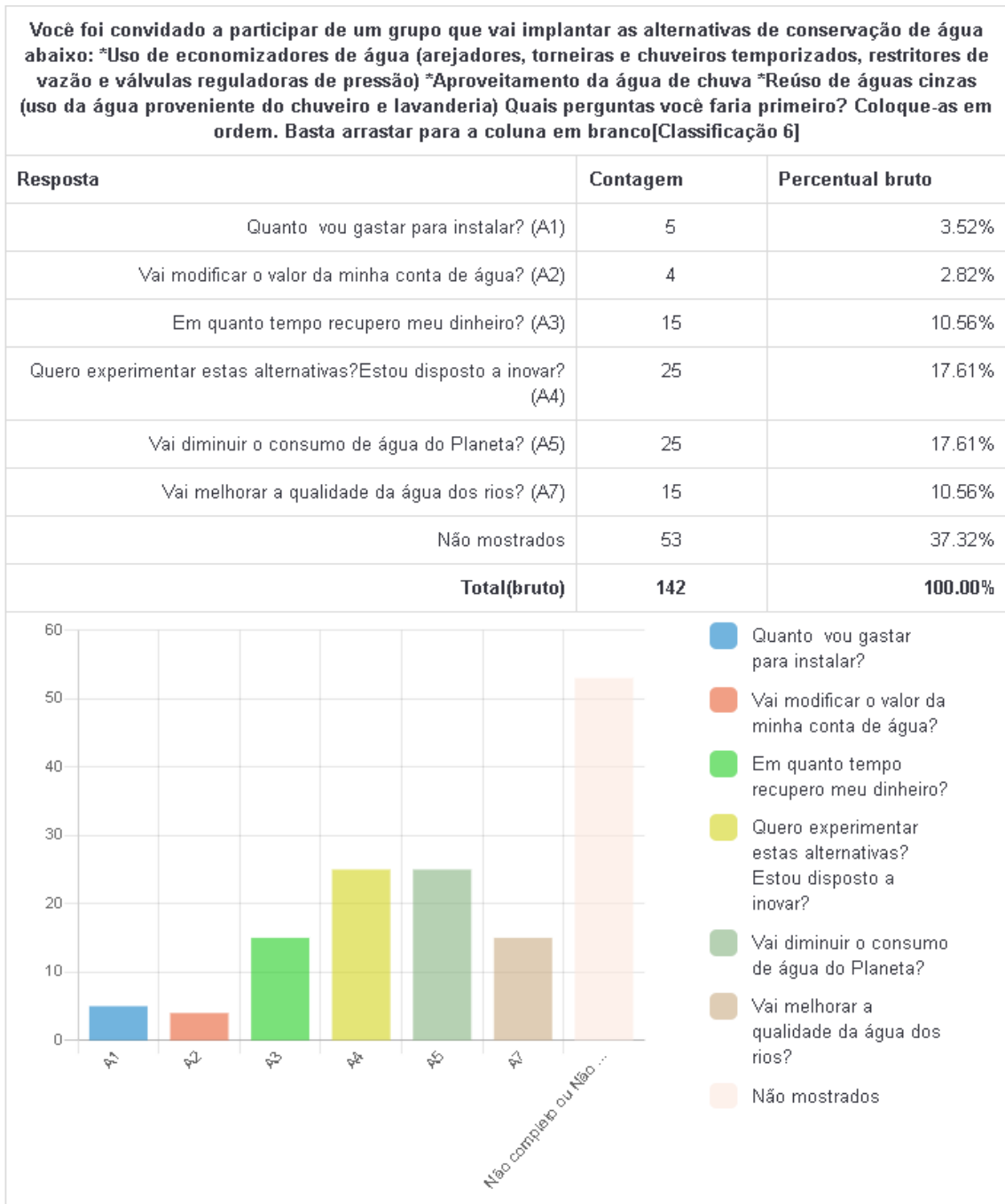


Figura 45- Resumo das respostas da pergunta número 3 – Sexta posição - do 2º questionário



## 9. APÊNDICE D – CÁLCULO DA INFLAÇÃO

A Tabela 87 mostra os valores anuais históricos da inflação e o valor acumulado até o ano de 2022.

**Tabela 87- Inflação acumulada**

Ano	Inflação ()	Inflação acumulado até out/2022 ()
1995	15,24	981,951
1996	9,19	838,867
1997	7,74	759,847
1998	1,79	698,076
1999	20,1	684,042
2000	9,95	552,824
2001	10,37	493,746
2002	25,3	437,960
2003	8,69	329,338
2004	12,42	295,011
2005	1,2	251,371
2006	3,85	247,204
2007	7,75	234,333
2008	9,81	210,285
2009	-1,71	182,566
2010	11,32	187,482
2011	5,1	158,248
2012	7,81	145,716
2013	5,53	127,916
2014	3,67	115,973
2015	10,54	108,327
2016	7,19	88,463
2017	-0,53	75,822
2018	7,55	76,759
2019	7,32	64,350
2020	23,14	53,140
2021	17,79	24,363
2022	5,58	5,580

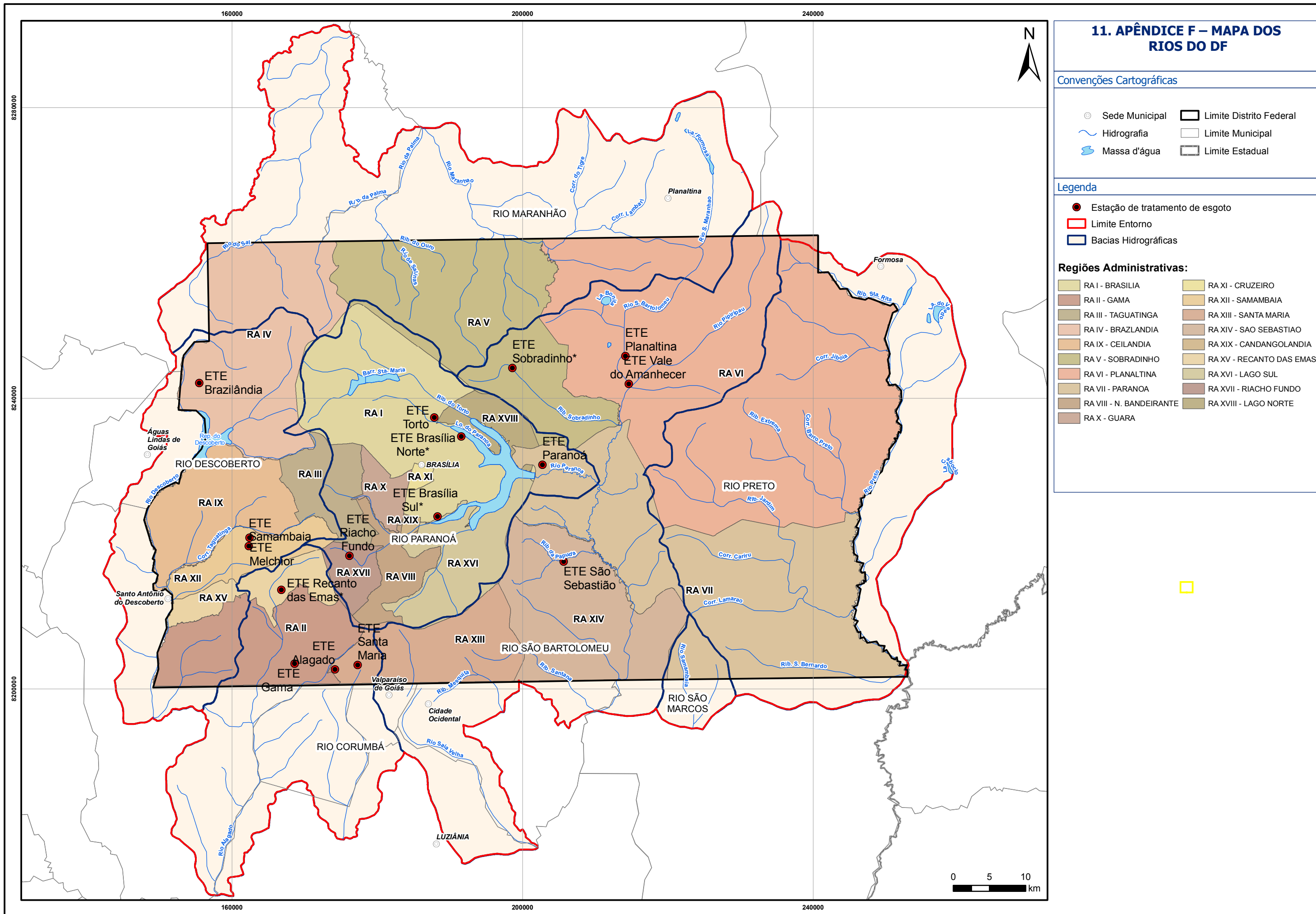
Fonte: FGV (2021)

## 10. APÊNDICE E - COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DO AAC DA CLASSE MÉDIA ALTA

Aplicando-se a metodologia descrita, foi possível determinar o valor de cada critério para a opção da chuva que economiza 11 de água e para a que economiza 30,6. A Tabela 88 exibe os valores e mostra que a primeira alternativa é superior em todos os critérios, sendo assim, escolhida para as simulações.

**Tabela 88- Comparação das alternativas da chuva para a classe média-alta**

CRITÉRIO DE JULGAMENTO	CH 11	CH 30,6	QUEM FOI MELHOR?
Investimento do cidadão	421,23	2.242,54	11
<i>Payback</i> simples	10	21	11
Vontade de implantar	67,1	67,1	IGUAL
Redução da exploração de RH	14.622.953,06	13.869.853,58	11
Enquadramento do corpo hídrico	-3	-3	IGUAL
DBO no corpo hídrico	23,33	23,58	11
Balanço final	311.210.585,92	290.124.082,40	11
Custo do tratamento	516.729,68	1.291.461,14	11
Comprometimento da renda familiar	-0,54	-0,54	IGUAL



# 11. APÊNDICE F – MAPA DOS RIOS DO DF

## Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ▭ Limite Distrito Federal
- ~ Hidrografia
- ▭ Limite Municipal
- ☁ Massa d'água
- ▭ Limite Estadual

## Legenda

- Estação de tratamento de esgoto
- ▭ Limite Entorno
- ▭ Bacias Hidrográficas

## Regiões Administrativas:

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| RA I - BRASÍLIA          | RA XI - CRUZEIRO         |
| RA II - GAMA             | RA XII - SAMAMBAIA       |
| RA III - TAGUATINGA      | RA XIII - SANTA MARIA    |
| RA IV - BRAZILÂNDIA      | RA XIV - SÃO SEBASTIÃO   |
| RA IX - CEILÂNDIA        | RA XIX - CANDANGOLÂNDIA  |
| RA V - SOBRADINHO        | RA XV - RECANTO DAS EMAS |
| RA VI - PLANALTINA       | RA XVI - LAGO SUL        |
| RA VII - PARANOÁ         | RA XVII - RIACHO FUNDO   |
| RA VIII - N. BANDEIRANTE | RA XVIII - LAGO NORTE    |
| RA X - GUARÁ             |                          |